

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta bezpečnostního inženýrství**

## **Disertační práce**

**Ing. Tomáš Mičaník**

**Ostrava 2016**



**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**

17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba

**Fakulta bezpečnostního inženýrství**

Katedra bezpečnostního managementu

# **Šíření havarijního znečištění v tocích**

**Disertační práce**

Pro získání akademického titulu „doktor“, ve zkratce „Ph.D.“

<b>Autor:</b>	<b>Ing. Tomáš Mičaník</b>
<b>Školitel:</b>	<b>prof. RNDr. Pavel Danihelka, CSc.</b>
<b>Studijní program:</b>	<b>Požární ochrana a průmyslová bezpečnost</b>
<b>Studijní obor:</b>	<b>Požární ochrana a bezpečnost</b>

**Ostrava, 25. května 2016**





## **Abstrakt**

MIČANÍK, Tomáš. *Šíření havarijního znečištění v tocích*. Ostrava, 2016. Disertační práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, Katedra bezpečnostního managementu.

Disertační práce se zabývá problematikou mísení znečištění v povrchových vodách z bodového zdroje od místa úniku/vypouštění až k místu, kde je koncentrace polutantu spojitá v celém příčném úseku toku. Experimentálně byl na různých typech toků v České republice ověřen rozsah mísící zóny pomocí vhodné metody a následně porovnán s výpočtovými postupy autorů, kteří se touto problematikou zabývali. Pomocí Českého imisního testu byla predikována oblast překračování norem environmentální kvality a oblast možného chronického a akutního účinku na vodní organismy vlivem modelových případů úniku závadné látky do toku. Hlavním výstupem práce je metodický postup pro vymezení mísící zóny v podmínkách ČR. Zjištěné poznatky a výstupy práce jsou využitelné pro zlepšení havarijního managementu.

## **Klíčová slova**

Mísící zóna; vymezení; znečištění povrchových vod; havárie; modelování vlečky znečištění

## **Abstract**

MIČANÍK, Tomáš. *Šíření havarijního znečištění v tocích*. Ostrava, 2016. Disertační práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, Katedra bezpečnostního managementu.

This dissertation focuses on the issues of pollutant mixing in surface water from a point source i.e. from the point of discharge/leakage up to the place in the river where pollutant concentration is continuous throughout the whole cross-section of the flow. Experimentally, the scope of mixing zone on various types of watercourses in the Czech Republic had been verified using an appropriate method and then compared with calculation procedures of authors having dealt with such issues. The Czech Pollution Test was used made to predict the zone where environmental quality standards are exceeded and the zone of potential acute and chronic effects in aquatic organisms based on incident scenarios of harmful substance spills into a watercourse. The main outcome of this thesis is a methodological approach taken to define mixing zones in the water environment of the Czech Republic. Knowledge obtained and outcomes of this thesis are useful as a tool for management decision making in the case of the hazardous substances releases into the surface water.

## **Keywords**

Mixing zone; designation; surface water pollution; accidental pollution; plume modeling

### **Čestné prohlášení a souhlas se zveřejněním**

„Prohlašuji, že jsem celou disertační práci vypracoval samostatně podle pokynů školitele s použitím literatury uvedené v soupisu bibliografických citací a v souladu se Studijním řádem. V souladu s §47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním celé disertační práce prostřednictvím informačního systému VŠB-TU Ostrava umožňujícího dálkový přístup.

Jsem seznámen s tím, že na mou disertační práci se vztahuje zákon 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že VŠB-TU Ostrava nezasahuje do mých autorských práv užitím mé disertační práce pro vnitřní potřebu VŠB-TU Ostrava (§ 35 odst. (3) zákona 121/2000 Sb. v platném znění).

Užiji-li disertační práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti VŠB-TU Ostrava; v tom případě má VŠB-TU Ostrava právo požadovat ode mne náhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše (§ 60 odst. (3) zákona 121/2000 Sb. v platném znění).

V Ostravě 25. 05. 2016

Ing. Tomáš Mičaník



## **Motivace**

Důvodem zabývat se problematikou mísící zóny byla skutečnost, že v první oblasti mísení havarijního úniku nebo realizovaného vypouštění odpadních vod koexistují vedle sebe v řece oblasti ovlivněné a neovlivněné tímto únikem nebo vypouštěním do doby, než dojde k úplnému promísení v celém příčném profilu. Tato moje výzkumná aktivita byla podpořena legislativní možností vymezit mísící zóny podle evropského a následně i národního práva v oblasti vodní politiky. Dalším důvodem byl zájem Ministerstva životního prostředí vypracovat jednotný metodický postup pro vymezování mísící zóny, který by byl vhodný pro aplikaci v podmínkách České republiky. Nad rámec výše uvedeného pak bylo využití zkušeností s vymezováním mísící zóny pro havarijní management.

Cílem disertační práce bylo provést experimentální ověření rozsahu mísící zóny na různých typech toků ČR pomocí vhodné metody, zpracovat metodický postup pro vymezování mísících zón a navrhnout využití získaných poznatků pro zlepšení havarijního managementu.

Poděkování patří prof. RNDr. Pavlovi Danihelkovi, CSc., mému školiteli a vedoucímu disertační práce, za odborné vedení a všestrannou pomoc při studiu, tvorbě tezí a disertační práce. Dále děkuji Ing. Aleši Koťátkovi a kolegům z Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, veřejné výzkumné instituce, zvláště Ing. Františku Sýkorovi, Ing. Jiřímu Kučerovi a Ing. Martinu Durčákovi, kteří společně se mnou prováděli experimentální práce na tocích. Ing. Jiřímu Šajerovi děkuji za vývoj softwaru pro vymezování mísících zón a trpělivost, se kterou řešil mé připomínky a podněty pro jeho úpravu.

Děkuji také státním podnikům Povodí (Povodí Labe, s.p., Povodí Vltavy, s.p., Povodí Ohře, s.p., Povodí Moravy, s.p. a Povodí Odry, s.p.) za připomínky při zpracovávání metodiky pro vymezování mísících zón a podniku Povodí Labe, s.p. – provozní středisko Děčín, za poskytnutí lodi a lodivoda při experimentálním ověřování mísící zóny na úseku dolního Labe.

V neposlední řadě děkuji nejbližší rodině a příbuzným za pochopení, trpělivost a podporu v mém studiu.



# Obsah

Seznam ilustrací .....	13
Seznam tabulek .....	17
Seznam zkratk .....	19
Seznam použitých jednotek, symbolů a značek .....	21
Výkladový slovník.....	24
1. Úvod .....	25
2. Cíl disertační práce.....	27
3. Teoretická část .....	29
3.1 Co je to mísící zóna.....	29
3.2 Faktory ovlivňující mísící zónu .....	30
3.2.1 Charakteristiky úniku/vypouštění .....	30
3.2.2 Charakteristiky toku .....	32
3.3 Jednoduché postupy výpočtu rozsahu mísící zóny .....	39
3.4 Výpočet tvaru vlečky znečištění .....	44
3.5 Právní rámec problematiky .....	48
4. Experimentální část .....	50
4.1 Experimentální ověření délky mísící zóny na tocích ČR.....	50
4.1.1 Výběr vodních toků .....	50
4.1.2 Výběr metody pro ověřování rozsahu a tvaru mísící zóny .....	52
4.1.3 Terénní měření .....	58
4.2 Srovnání výsledků terénních měření s vypočteným rozsahem mísící zóny.....	86
4.3 Vlivy nepřesnosti dat na rozsah mísící zóny.....	90
4.4 Modifikace vztahu pro výpočet rozsahu mísící zóny.....	91
4.5 Vyhodnocení výsledků rozsahu mísící zóny podle modifikovaného vztahu .....	99
5. Vývoj metodického postupu pro určení rozsahu mísící zóny .....	104
5.1 Úvod.....	104
5.2 Přijatelnost vymezení regulační mísící zóny a jejího rozsahu .....	105
5.3 Víceúrovňové posouzení významnosti zdrojů znečištění .....	107
5.4 Řešení vícečetných vypouštění .....	132
5.5 Přeshraniční překračování mísících zón.....	132
5.6 Strategie pro redukci mísících zón .....	133

<b>6. Určení rozsahu mísicí zóny pomocí programu CIT .....</b>	<b>135</b>
6.1 Testování těsnosti Fischerova vztahu na výsledcích terénních měření .....	135
6.2 Určení rozsahu hydraulické mísicí zóny programem CIT .....	138
6.2.1 Kalibrace modelu .....	138
6.2.2 Srovnání vypočtené délky mísicí zóny s výsledky terénních měření .....	143
6.3 Určení rozsahu regulační mísicí zóny programem CIT na vybraných příkladech.....	146
6.3.1 Určení rozsahu mísicí zóny vlivem vypouštění odpadních vod z průmyslového zdroje č. 1 .....	147
6.3.2 Určení rozsahu mísicí zóny vlivem vypouštění odpadních vod z průmyslového zdroje č. 2 .....	150
6.3.3 Určení rozsahu mísicí zóny vlivem vypouštění odpadních vod z komunálního zdroje č. 3 .....	153
<b>7. Využití mísicí zóny pro havarijný management na tocích .....</b>	<b>157</b>
7.1 Havarijný únik kyanidů z podniku Lučební závody Draslovka, a.s. Kolín .....	158
7.2 Modelování mísicí zóny vlivem potenciálního havarijního úniku nitrobenzenu v podniku BorsodChem MCHZ, s.r.o. Ostrava .....	160
7.3 Využití predikce tvaru mísicí zóny pro havarijný plánování .....	163
<b>8. Přínosy disertační práce a závěr .....</b>	<b>165</b>
<b>9. Dosažené výsledky autora vztahující se k tématu práce .....</b>	<b>171</b>
<b>Soupis bibliografických citací .....</b>	<b>173</b>
<b>Seznam příloh .....</b>	<b>181</b>
<b>Přílohy .....</b>	<b>183</b>



## Seznam ilustrací

- Obr. 1 Schéma mísící zóny
- Obr. 2 Znázornění transportu a rozložení říčního sedimentu v meandrujícím toku, jak jej pozoroval Powell [7] v tocích se štěrko-písčitém dnem (pohled shora)
- Obr. 3 Znázornění primárního a sekundárního proudění v příčném řezu meandru jak jej pozoroval Powell [7] v tocích se štěrko-písčitém dnem
- Obr. 4 Příklad opevnění svahů vodních toků záhozovou patkou (řeka Bělá v Mikulovicích)
- Obr. 5 Příklad obdélníkového koryta (řeka Morava v Olomouci)
- Obr. 6 Příklad separace proudu za stupněm podle Allena [8]. Svislice znázorňují rychlost a směr proudění.
- Obr. 7 Příklad separace proudu vlivem překážky podle Morisawa [9] (pohled shora)
- Obr. 8 Rozložení rychlosti proudění v toku podle Knightona, (příčný řez)
- Obr. 9 Průběh rychlosti proudění v toku podle Roberta, (podélný řez)
- Obr. 10 Křivolakost toků podle Rosgena
- Obr. 11 Zobrazení intenzity turbulentního proudění změnou rychlosti v horizontálním směru vlivem dnové nerovnosti (výška písečné duny 4 cm, délka 63cm). Uměle vytvořený kanál v laboratorních podmínkách podle Bennetta a Besta [14]
- Obr. 12 Zobrazení intenzity turbulentního proudění změnou rychlosti ve vertikálním směru vlivem dnové nerovnosti (výška písečné duny 4 cm, délka 63cm). Uměle vytvořený kanál v laboratorních podmínkách podle Bennetta a Besta [14]
- Obr. 13 Náčrt mísení znečištění v toku směrem po proudu (podle [22])
- Obr. 14 Labe v Ústí nad Labem
- Obr. 15 Odra v Ostravě-Přívoze
- Obr. 16 Oslava ve Velkém Meziříčí
- Obr. 17 Opusta v Dolním Benešově
- Obr. 18 Aplikace sulforhodaminu G jako stopovací látky na Vltavě ve Vraném v r. 2012
- Obr. 19 Terénní měřicí přístroj HQ40d multi s připojenou konduktometrickou sondou
- Obr. 20 Loď použitá pro měření na dolním Labi

- Obr. 21 Měření broděním
- Obr. 22 Loď použitá pro měření na Odře
- Obr. 23 Měření s tyčí na Opavě
- Obr. 24 Vizualizace mísící zóny na řece Bečvě pod výpustí odpadních vod podniku Deza, a.s. V. Meziříčí (1. měření)
- Obr. 25 Vypouštění odpadních vod z ČOV Hradec Králové do Labe
- Obr. 26 Průběh mísení pod ČOV Hradec Králové v dubnu 2007 (podélný řez)
- Obr. 27 Průběh mísení pod ČOV Hradec Králové v červenci 2007 (podélné a příčné řezy)
- Obr. 28 Mísení odpadní vody ČOV Pardubice v řece Labi (Zdroj: [www.seznam.cz](http://www.seznam.cz))
- Obr. 29 3D vizualizace mísící zóny na Labi (2. měření). Legenda:  $\kappa$  - konduktivita v  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ;  $\check{s}$  - počet měřících bodů v příčném profilu;  $l$  - počet měřených profilů v podélném směru toku
- Obr. 30 Lučina v místech vypouštění odpadních vod z podniku ArcelorMittal, a.s. (Zdroj: [www.seznam.cz](http://www.seznam.cz))
- Obr. 31 Odra v místech vypouštění odpadních vod z podniku BorsodChem MCHZ, s.r.o. (Zdroj: [www.seznam.cz](http://www.seznam.cz))
- Obr. 32 3D vizualizace mísící zóny na Odře (2. měření). Legenda:  $\kappa$  – konduktivita v  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ;  $\check{s}$  – počet měřících bodů v příčném profilu;  $l$  – počet měřených profilů v podélném směru toku
- Obr. 33 2D zobrazení mísící zóny na Odře pod výpustí odpadních vod z podniku BorsodChem MCHZ, s.r.o. Ostrava pomocí techniky Esri ArcGIS Environment
- Obr. 34 Olše cca 250 m pod výpustí KČOV1 Energetiky Třinec, a.s. (1. měření)
- Obr. 35 3D vizualizace mísící zóny na Opavě (2. měření). Legenda:  $\kappa$  – konduktivita v  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ;  $\check{s}$  – počet měřících bodů v příčném profilu;  $l$  – počet měřených profilů v podélném směru toku
- Obr. 36 Ostravice cca 200 m pod výpustí ČOV Frýdek-Místek
- Obr. 37 2D vizualizace mísící zóny na Ostravici pod výpustmi komunální ČOV Frýdek-Místek a podniku ArcelorMittal Frýdek-Místek, a.s. (1. a 2. měření)
- Obr. 38 Vypouštění odpadních vod z Biocelu Paskov, a.s. do Ostravice (nyní již zrušeno a přeloženo do řeky Odry)

- Obr. 39 Rak říční v litorálu protilehlého břehu Ostravice cca 400 m pod výpustí odpadních vod z Biocelu Paskov, a.s.
- Obr. 40 Vypouštění důlních vod z Důlní jámy (DJ) Jeremenko do Ostravice (1. měření)
- Obr. 41 Ostravice pod jezem v 7,56 ř. km, stav 30.4.2010 (1. měření)
- Obr. 42 Ostravice pod jezem v 7,56 ř. km, stav 17.2.2011 (3. měření)
- Obr. 43 Ústí Lučiny do Ostravice (voda z Lučiny je zakalena), situace při 2. měření
- Obr. 44 Počátek rozvětvení toku Svitavy v obci Skrchov
- Obr. 45 Měření konduktivity na soutoku Svitavy a náhonu v obci Skrchov
- Obr. 46 Koryto řeky Zdobnice pod jezem v 2,13 ř. km (pod výpustí ESAB, V2)
- Obr. 47 Diagramy vyjadřující míru shody vypočteného rozsahu mísící zóny s experimentálním zjištěním v terénu
- Obr. 48 Počet útvarů povrchových vod podle jejich celkové délky páteřního toku
- Obr. 49 Hlavní obrazovka programu CIT – Úroveň 1 – test významnosti zdroje znečištění
- Obr. 50 Hlavní obrazovka programu CIT – Úroveň 2
- Obr. 51 Znázornění průběhu znečištění v příčném profilu toku
- Obr. 52 Hlavní obrazovka programu CIT – Úroveň 3
- Obr. 53 CIT – Úroveň 3; ukázka vložení charakteristik recipientu
- Obr. 54 CIT – Úroveň 3; ukázka obrazovky kalibrace modelu
- Obr. 55 Interakce mezi bodovými zdroji na přilehlých vodních útvarech (Zdroj: [48])
- Obr. 56 Ukázka těsnosti Fischerova vztahu z terénních měření  $C_{max}$  pomocí konduktivity na řece Bečvě (a), Odře (b), Labe (c) a Lučině (d)
- Obr. 57 Ukázka těsnosti Fischerova vztahu z terénních měření  $C_{max}$  pomocí konduktivity na řece Ostravici (a), výpust odpadních vod z ČOV Frýdek-Místek do Ostravice (b)
- Obr. 58 Ukázka kalibrace vymezení mísící zóny (lokalita Opava pod ČOV Opava, 1. měření)
- Obr. 59 Ukázka porovnání výsledné koncentrace na konci mísící zóny mezi terénním měřením a výpočtem modelem CIT (lokalita Opava pod ČOV Opava, 2. měření)
- Obr. 60 Příklady dostatečné (a) a nedostatečné těsnosti (b–d) výpočtové křivky s body měření

- Obr. 61 Princip zkrácení vypočteného rozsahu mísicí zóny programem CIT přičtením zvoleného podílu přírůstku znečištění PZ ke koncové koncentraci  $C_{konc}$  ( $d_{MZ}$  – délka mísicí zóny vypočtená;  $d_{MZ}^*$  – délka mísicí zóny korigovaná podle  $C_{konc}^*$ )
- Obr. 62 Srovnání shody experimentálně naměřených dat rozsahu mísicí zóny s jejich rozsahem vypočteným modifikovaným vztahem (38) a modelem CIT podle  $C_{konc}^*$
- Obr. 63 Schéma rozsahu mísicí zóny pro zdroj č. 1 vypočtený modelem CIT
- Obr. 64 Schéma rozsahu mísicí zóny pro zdroj č. 2 vypočtený modelem CIT
- Obr. 65 Schéma rozsahu mísicí zóny pro komunální zdroj znečištění vypočtený modelem CIT
- Obr. 64 Schéma tvaru mísicí zóny pro havarijní únik kyanidů z LZ Draslovka, a.s. Kolín vypočtený modelem CIT
- Obr. 65 Schéma tvaru mísicí zóny pro havarijní únik nitrobenzenu z BorsodChem MCHZ, s.r.o. Ostrava vypočtený modelem CIT
- Obr. 66 Závislost délky mísicí zóny na šířce toku z výsledků terénních měření

## Seznam tabulek

- Tabulka 1: Stanovení rozsahu mísící zóny podle konduktivity a podle koncentrace PAU
- Tabulka 2: Stanovení rozsahu mísící zóny podle konduktivity a podle koncentrace niklu a zinku
- Tabulka 3: Stanovení rozsahu mísící zóny podle konduktivity a podle koncentrace kadmia a zinku
- Tabulka 4: Srovnání experimentálně naměřených dat rozsahu mísící zóny a hodnot jejich rozsahu vypočtených podle vztahů (15–19)
- Tabulka 5: Vyhodnocení shody experimentálně naměřených dat rozsahu mísící zóny a hodnot jejich rozsahu vypočtených podle vztahů (15–19)
- Tabulka 6: Vyhodnocení vlivu nepřesnosti dat na rozsah mísící zóny vypočtených podle vztahů (15–19)
- Tabulka 7: Součinitel drsnosti v závislosti na zrnitosti substrátu podle Coona (modifikoval Mattas) [40]
- Tabulka 8: Hodnoty drsnosti podle Cowana
- Tabulka 9: Korekce drsnosti v závislosti na průtoku v toku
- Tabulka 10: Navržená hodnota parametru  $m$  v závislosti na šířce vlečky znečištění v počátečním bodě úniku/vypouštění
- Tabulka 11: Srovnání experimentálně naměřených dat rozsahu mísící zóny a hodnot jejich rozsahu vypočteného podle modifikovaného Fischerova vztahu (38)
- Tabulka 12: Vyhodnocení shody experimentálně naměřených dat rozsahu mísící zóny a hodnot jejich rozsahu vypočtených podle modifikovaného vztahu (38)
- Tabulka 13: Poměr shody experimentálně naměřených dat rozsahu mísící zóny a hodnot jejich rozsahu vypočtených podle vybraných autorů a modifikovaného vztahu (38)
- Tabulka 14: Kritéria pro dostatečný soubor výsledků měření jakosti odpadních vod
- Tabulka 15: Kritéria pro posouzení významnosti zdroje znečištění povrchových vod
- Tabulka 16: Velikost konstanty a podle velikosti přírůstku znečištění PZ

- Tabulka 17: Poměr shody experimentálně naměřených dat rozsahu mísící zóny s jejich rozsahem vypočteným modifikovaným vztahem (38) a modelem CIT podle  $C_{konc}^*$  vztahem (46)
- Tabulka 18: Výsledky stanovení rozsahu mísící zóny pro zdroj č. 1 vypočtené modelem CIT
- Tabulka 19: Přehled posuzovaných látek zdroje č. 2
- Tabulka 20: Výsledky stanovení rozsahu mísící zóny pro zdroj č. 2 vypočtené modelem CIT
- Tabulka 21: Přehled posuzovaných látek komunálního zdroje
- Tabulka 22: Výsledky stanovení rozsahu mísící zóny pro komunální zdroj vypočtené modelem CIT
- Tabulka 23: Výsledky stanovení rozsahu mísící zóny pro havarijní únik kyanidů z LZ Draslovka, a.s. Kolín vypočtené modelem CIT
- Tabulka 24: Výsledky stanovení rozsahu mísící zóny pro modelový havarijní únik nitrobenzenu z BorsodChem MCHZ, s.r.o. Ostrava vypočtené modelem CIT
- Tabulka 25: Vyhodnocení shody experimentálně naměřených dat rozsahu mísící zóny a hodnot jejich rozsahu vypočtených podle vztahů (15–19, 38) a modelem CIT na  $C_{konc}^*$

## Seznam zkratek

a.s.	akciová společnost
BFI	base-flow index
BSK <sub>5</sub>	biochemická spotřeba kyslíku pětidenní
CAS	Chemical Abstracts Service
CIT	Český imisní test
č.	číslo
ČOV	čistírna odpadních vod
ČR	Česká republika
ČSN	Česká státní norma
ČÚZK	Český ústav zeměměřický a kartografický
DCB	dichlorbenzen
DCE	dichloreten
DJ	důlní jáma
DN	jmenovitá světlost (diameter nominal)
DV	důlní voda
el.	elektrická
EHS	Evropské hospodářské společenství
EK	Evropská komise
EO	ekvivalentní obyvatel
EPA	Environmental Protection Agency
ES	Evropské společenství
EU	Evropská unie
FM	Frýdek-Místek
GPS	Global Positioning System
HEIS	Hydroekologický informační systém
CHKO	chráněná krajinná oblast
ISO	International Organization for Standardization
KČOV	koncová čistírna odpadních vod
MCHZ	Moravské chemické závody

MŽP	Ministerstvo životního prostředí
NEK	norma environmentální kvality
NEK-NPH	norma environmentální kvality – nejvyšší přípustná hodnota
NEK-RP	norma environmentální kvality – roční průměr
NEL	nepolární extrahovatelné látky
NL	nerozpuštěné látky
OV	odpadní voda
PAU	polyaromatické uhlovodíky
p.č.	pořadové číslo
pH	záporný dekadický logaritmus číselné hodnoty koncentrace vodíkových iontů v roztoku (power of hydrogen)
Ph.D.	philosophiæ doctor
PNEC	nejvyšší předpokládaná koncentrace látky v prostředí bez nežádoucího nepříznivého účinku (predicted no effect concentration)
PZL	předmětná znečišťující látka
ř. km	říční kilometr
Sb.	sbírka (zákonů)
s.r.o.	společnost s ručením omezeným
SVHB	Státní vodohospodářská bilance
US	United States
VOC	těkavé organické sloučeniny (volatile organic compounds)
VÚV TGM	Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka
v.v.i.	veřejná výzkumná instituce



## Seznam použitých jednotek, symbolů a značek

$B$	šířka toku
$^{\circ}\text{C}$	stupeň celsia
$c$ (C)	koncentrace
$C_o$	počáteční koncentrace polutantu v místě úniku/vypouštění
$C_r$	koncentrace polutantu v recipientu nad místem úniku/vypouštění
$c_{ov}$	koncentrace polutantu v unikající kapalině nebo odpadní vodě
$c_{mix}$	koncentrace polutantu ve vlastní mísící zóně
$c_{pro}$	koncentrace polutantů v prostředí neovlivněném únikem/ vypouštěním
cm	centimetr
$D$	difúzní koeficient
$d_{MZ}$	délka mísící zóny
$E$	turbulentní difuze
$E_y$	horizontální difuze
$E_z$	vertikální difuze
$f_R$	faktor určující fyzikální procesy
$g$	gravitační konstanta
$h$	hloubka toku
$j$	difúzní tok
kg	kilogram
km	kilometr
$l$	velikost převládajících vírů
$l$	litr (též $\text{dm}^3$ )
$L$	délka mísící zóny
$L_{mh}$	délka horizontálního mísení
$L_{mv}$	délka vertikálního mísení
$M$	hmotnostní tok za jednotku času

m	metr
m <sup>3</sup>	metr krychlový
mg	miligram
mmol	milimol
mS	milisiemens
n	látkové množství v molech
<i>n</i>	součinitel drsnosti koryta
Q	průtok v toku
Q <sub>330</sub>	průtok, který je dosažen nebo překročen průměrně 330 dní v roce, tj. po dobu 90 % dní v roce
Q <sub>355</sub>	průtok, který je dosažen nebo překročen průměrně 355 dní v roce, tj. po dobu 97 % dní v roce
Q <sub>a</sub>	průměrný roční průtok odvozený na základě dlouhodobých průtokových řad
Q <sub>co</sub>	hmotnostní tok ze zdroje znečištění
Q <sub>ov</sub>	průtok odpadních vod
Q <sub>rec</sub>	průtok v recipientu (v toku)
q	transport hmoty (znečištění)
S	plocha
s	sekunda
t	čas
U	průměrná rychlost proudění v toku
u'	výslednice rychlosti proudění
u <sub>*</sub>	třecí rychlost
ū	průměrná rychlost proudění v příčném profilu toku
v	rychlost proudění v toku
x	vzdálenost od místa úniku/vypouštění
x'	podélná vzdálenost od místa úniku/vypouštění
y'	příčná vzdálenost od místa úniku/vypouštění
α <sub>y</sub>	empirický koeficient horizontální difuze
α <sub>z</sub>	empirický koeficient vertikální difuze

$\mu\text{g}$	mikrogram
$\mu\text{S}$	mikrosiemens
$\Omega$	elektrický odpor
$\rho$	měrná hmotnost
$\tau_0$	střihové napětí u dna

## Výkladový slovník

mísící zóna	je oblast v recipientu, kde již došlo k úplnému promísení znečištění s povrchovou vodou v celém příčném profilu
norma environmentální kvality	jakostní standard znečištění povrchových vod, který nesmí být v žádném reprezentativním místě vodního útvaru překročen
akutní ekotoxická	je vnitřní vlastnost látky být nebezpečnou pro vodní organismus po krátké expozici této látky ve vodním prostředí
chronická ekotoxická	je vnitřní vlastnost látky být dlouhodobě nebezpečnou pro vodní organismus ve vodním prostředí
aluviální	vzniklý nánosem, naplavením
anizotropie	je vlastnost, kterou se označuje závislost určité veličiny na volbě směru
ekvivalentní obyvatel	producent znečištění; uměle zavedená jednotka, která představuje produkci odpadní vody 150 litrů za den a produkci znečištění 60g organického znečištění za den vyjádřeného parametrem BSK <sub>5</sub>
selfmonitoring	monitoring jakosti vypouštěných odpadních vod prováděný znečišťovatelem na vlastní náklady
konsumpční křivka	znázorňuje v hydrologii vztah mezi průtokem a vodním stavem v určitém měrném profilu toku; pomocí ní lze zpětně k danému vodnímu stavu přiřadit průtok
singularita	představuje narušení či ohraničení integrity či matematické, fyzikální, časoprostorové spojitosti
trdliště	je označení pro místo, kde dochází ke tření ryb
base-flow index	je podíl odtoku podzemních vod na celkovém odtoku v daném dílčím povodí

## 1. Úvod

Voda je jednou z nejrozšířenějších látek na Zemi a zároveň jednou z nejzajímavějších z hlediska chemického, fyzikálního i biologického. Asi 97 % vody na světě se nachází v oceánech. Slaná oceánská voda se však nehodí ani k pití, ani k hospodářským účelům. Sladká voda tvoří jen nepatrnou část hydrosféry – 3 %, přičemž 69 % této vody je obsaženo v ledovcích, které jsou v polárních oblastech. Dalších 30 % sladké vody tvoří voda podzemní a jen necelé jedno procento připadá na vodu povrchovou a atmosférickou. Voda je tedy jedním z nejcennějších přírodních zdrojů na naší planetě.

Voda je základem života a hlavním faktorem ovlivňujícím řadu přirozených i umělých pochodů anorganického i organického světa. Je dědictvím, které musí být chráněno, stráženo a musí být s ním uvážlivě nakládáno.

Potřeba vody pro život lidské společnosti si vyžádala vznik řady vědních a technických oborů, například hydrauliky, hydrobiologie, vodního stavitelství, vodní dopravy, vodárenství, stokování, čištění vody či lázeňství. Z hlediska hospodaření s vodou je stěžejní zásobování obyvatelstva, závlaha v zemědělství a použití ve vybraných sektorech průmyslu a služeb.

Využitá voda má ve většině případů změněnou jakost a stává se tak vodou odpadní. Odpadní vody jsou odváděny sběrnými systémy kanalizace z městských sídel a z průmyslových podniků do říční sítě po jejich nezbytném čištění. Další možnou příčinou znečištění vody jsou havarijní úniky látek, které jsou v naprosté většině případů pro vodní ekosystém příčinou jeho poškození. Havarijní úniky se do povrchových vod často dostávají sběrnými systémy kanalizace. Mohou být zapříčiněny lidským faktorem (např. zanedbáním kontroly nebo údržby zařízení, nedodržením technologického postupu, stresem, únavou, případně úmyslným jednáním osob), méně často náhlým selháním techniky. Ke vzniku havárie mohou přispívat i nevhodné klimatické podmínky a jejich náhlé změny v čase.

Pro zachování a minimalizaci dopadu na vodní prostředí jsou legislativně stanoveny požadavky na užívání vody a normy environmentální kvality, v ČR pro více než 100 chemických látek. V posledních patnácti letech byla do národního právního řádu

transponována řada požadavků vyplývajících ze směrnic a doporučení Evropské unie. Zde je potřeba zmínit především tzv. Rámcovou směrnicí pro vodní politiku Společenství 2000/60/ES [1]. V navazující směrnici 2008/105/ES [2] a její novele 2011/39/EU [3] jsou na evropské platformě definovány chemické látky, které se z hlediska ochrany povrchových vod jeví jako prioritní. Normy environmentální kvality (NEK) jsou vyjádřeny jako roční průměrná hodnota (NEK-RP), jejichž účelem je ochrana proti chronickým toxickým účinkům na vodní organismy. Pro vybrané prioritní látky je také stanovena nejvyšší přípustná hodnota (NEK-NPH) za účelem ochrany vodních organismů před akutními toxickými účinky.

Další legislativní opatření se vztahují k prevenci havarijních úniků a zvládání havárií, pokud nastanou (lze zmínit zvláště § 39 – § 42 vodního zákona) [4]. Havarijní únik nebo odpadní voda, které se dostávají do toku, se v něm postupně mísí. Pokud je koncentrace určité látky v unikající kapalině nebo odpadní vodě vyšší než příslušná hodnota NEK, bude v okolí místa vypouštění existovat zóna překročení NEK. Takovému místu říkáme mísicí zóna nebo vlečka znečištění.

Předkládaná disertační práce si klade za cíl určení délky a tvaru mísicí zóny pod místem havarijního úniku nebo vypouštění a určení koncentrace látky/látek na konci mísicí zóny (kde je již koncentrace polutantů spojitá v celém příčném profilu toku) pomocí zvolené metody a softwarového nástroje. Při řešení jsou využity dnes obecně známé poznatky z hydrodynamiky (proudění vody v korytě toku). Předmětem zájmu jsou prioritní látky v oblasti vodní politiky a ostatní znečišťující látky, které se ve vodě rozpouštějí nebo sorbují na jemné částice nerozpuštěných látek (splaveniny).

Hlavním výsledkem práce je vypracování metodiky pro stanovení mísicí zóny, využití potřebného softwarového nástroje a návrh aplikovatelnosti pro havarijní management. Novost řešení spočívá v metodickém přístupu k predikci mísicí zóny a návrh jeho využití pro havarijní management.

## 2. Cíl disertační práce

Vodstvo České republiky je členěno na tzv. útvary povrchových vod – dílčí povodí vodních toků (celkem kolem 1 100 útvarů). Každý z těchto útvarů má ve své dolní části reprezentativní profil pro sledování a hodnocení stavu vod. Pro prioritní látky v oblasti vodní politiky (stanovené směrnicí 2011/39/EU) je vyhodnocován chemický stav vod (je buď dobrý, nebo nevyhovující) a ekologický stav vod (více stupňů hodnocení). Ekologický stav mohou ostatní znečišťující látky ovlivnit nepřímo prostřednictvím jejich negativního působení na biologické složky vodního prostředí.

Je zcela logické, že při havarijních únicích a pod zdroji znečištění vypouštějícími odpadní vody není možné ihned po jejich vtoku do povrchových vod v mnoha případech normy environmentální kvality splňovat. Proto mají členské státy EU možnost vymezit v takových případech mísící zónu, a to především tehdy, pokud je ohrožena jakost vod v blízkosti reprezentativních profilů útvarů povrchových vod.

**Hlavním cílem disertační práce je:**

- vyvinout metodický postup pro stanovení mísící zóny, který zohlední významnost úniku nebo vypouštění.

**Dílčími cíli řešení vedoucími k naplnění hlavního cíle jsou:**

- experimentálně ověřit tvar a rozsah mísící zóny na různých typech toků v ČR pomocí vhodně zvolené metody
- predikovat tvar a rozsah mísící zóny pomocí vhodného softwarového nástroje a stanovit koncentraci znečišťující látky na konci mísící zóny
- využít poznatků o mísící zóně pro možný odhad následků havarijního znečištění tvorbou scénářů možných úniků do povrchových vod (zvl. z kanalizace průmyslového areálu) a pro zlepšení havarijního managementu při zvládání havárií na tocích.

Vyvinutou metodiku i zvolený SW nástroj je možné univerzálně využít pro určení nebo predikci mísící zóny (vlečky znečištění) univerzálně pro jakoukoliv závadnou látku (nejen prioritní) za níže uvedených předpokladů:

- unikající nebo vypouštěné znečišťující látky jsou v povrchové (přijímající) vodě rozpustné nebo snadno sorbovatelné na jemné částice nerozpuštěných látek v toku
- difuze znečišťujících látek ve vodním sloupci probíhá v 3D prostoru (tuto podmínku nesplňují ropné a olejovité látky plovoucí převážně po hladině nebo nerozpuštěné látky podléhající rychlé sedimentaci bezprostředně za místem úniku/vypouštění)
- znečišťující látky jsou stálé a s vodou nereagují za vzniku plynů, par nebo sraženiny, a to minimálně po dobu do úplného promísení znečištění na konci mísící zóny
- únik nebo vypouštění probíhá po dobu rovnou nebo delší, než je dotoková doba znečištění z místa úniku do místa jeho úplného smísení s povrchovou vodou v celém příčném profilu toku.



### 3. Teoretická část

#### 3.1 Co je to mísicí zóna

Z fyzikálního hlediska je jasné, že vnosem havarijní kapaliny nebo odpadní vody do povrchových vod dochází k postupnému mísení obou kapalin. Způsob mísení je přitom odlišný v prostředí stojatých vod (např. nádrží, rybníků) a v prostředí povrchové vody tekoucí. Tato práce se zabývá výhradně problematikou mísení v tocích, protože většina úniků a vypouštění se děje do řek.

Park S.S. a Uchirin Ch.G. [5] definují mísicí zónu jako oblast vodního toku bezprostředně navazující na místo vypouštění odpadních vod, ve které nejsou dodržovány standardy kvality. Podle Neelyho [6] je to oblast, kde se projevuje ve všech směrech rozptyl složek vypouštěné odpadní vody a kde je snaha dosáhnout stálých koncentrací v recipientu.

Koncentrace polutantů klesá s rostoucí vzdáleností od místa vypouštění (Obr. 1). Mísicí zóna je ve srovnání s okolním vodním prostředím charakteristická vysokou koncentrací unikajících nebo vypouštěných polutantů a je definována takto:

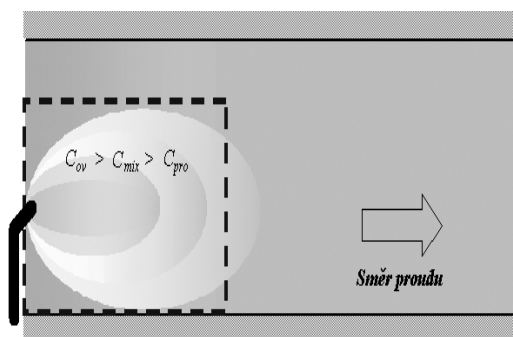
$$c_{ov} \geq c_{mix} \geq c_{pro} \quad \text{vztah (1)}$$

kde:

$c_{ov}$  je koncentrace polutantů v unikající kapalině nebo odpadní vodě

$c_{mix}$  je koncentrace polutantů ve vlastní mísicí zóně

$c_{pro}$  je koncentrace polutantů v prostředí neovlivněném únikem/vypouštěním



Obr. 1 Schéma mísicí zóny

V souvislosti se stanovením mísící zóny se nejčastěji věnuje pozornost tepelnému znečištění a chemickému znečištění. Jsou rozlišovány dva druhy mísících zón: akutní a chronická. Nejblíže k místu úniku/vypouštění přiléhá akutní mísící zóna – je to oblast počáteční fáze ředění, kde dochází k akutním toxickým účinkům na vodní organizmy. Následuje chronická mísící zóna, což je úsek toku, kde dochází k vyrovnaní koncentrací polutantů typických pro chronické účinky.

### 3.2 Faktory ovlivňující mísící zónu

Při úniku/vypouštění dochází bezprostředně pod tímto místem nejprve k velice intenzivnímu mísení znečištění s povrchovou vodou nejen ve směru jejího proudění, ale také ve vertikálním směru. Vzhledem k tomu, že toky na území ČR nevykazují velkou hloubku, je tato oblast krátká, dosahuje několika metrů až desítek metrů. V další fázi mísení dochází k mísení již jen v horizontálním směru, tj. napříč tokem. Délka toku, kdy se vlečka znečištění rozšíří v celém příčném profilu, je významně závislá především na jeho šířce a u největších řek v ČR může dosahovat i několik desítek kilometrů.

Další faktory významně ovlivňujícími mísení můžeme rozdělit na ty, které se týkají úniku/vypouštění (výpusti), a ty, které charakterizují vlastní tok.

#### 3.2.1 Charakteristiky úniku/vypouštění

##### *Tvar výpustného objektu*

Geometrie výpustného objektu má vliv na rychlost proudění vypouštěné kapaliny podle následujícího vztahu:

$$v = \frac{Q}{S} \qquad \text{vztah (2)}$$

kde je:

$v$  rychlost v  $\text{m.s}^{-1}$

$Q$  průtok v  $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$

$S$  plocha v  $\text{m}^2$

Čím menší je plocha průřezu výpusti, tím rychleji vypuštěná kapalina proudí, tím dále od břehu směrem do středu toku a k protilehlému břehu se dostává a tím rychleji dojde

k promíchání znečištění s povrchovou vodou. Nejčastěji se v ČR setkáváme s kruhovou výpustí o průměru DN 300 až DN 1000, méně často s čtvercovým profilem výpusti.

#### *Umístění výpustného objektu*

Z hlediska stanovení mísící zóny se rozlišuje umístění ze břehu nebo ze dna dále od břehu, zpravidla uprostřed toku. V ČR se můžeme setkat výhradně s umístěním výpusti ze břehu.

#### *Úhel, který svírá osa výpustného objektu s recipientem*

Úhel vypouštění společně s výtokovou rychlostí má vliv na to, jak daleko se znečištění dostane do proudnice povrchové vody v toku. Většina výpustí svírá s tokem, resp. břehovou linií, pravý úhel. Je však možné se setkat i s natočením výpusti směrem po proudu.

#### *Objem unikající kapaliny, velikost průtoku a koncentrace polutantu v odpadní vodě*

Pro účely predikce rozsahu mísící zóny je potřeba objem unikajícího znečištění převést na průtokovou a koncentrační charakteristiku. To je možné v případě, že lze odhadnout čas, ve kterém došlo k úniku daného objemu nebezpečné látky. Objem vypouštění vyjádřený průtokem za jednotku času a koncentrace unikající/vypouštěné látky mají v porovnání s vodností toku dominantní vliv na rozsah mísící zóny. V ČR, která je „střechou“ významných mezinárodních povodí (Odry, Labe, Dunaje (Morava, Dyje), převládají málo vodné toky s nižším faktorem ředění.

#### *Měrná hmotnost a teplota*

Rozdíl měrné hmotnosti unikající kapaliny nebo vypouštěné odpadní vody a vody povrchové v toku rozhoduje o tom, zda znečištění bude lokalizováno při hladině nebo zda se vnoří směrem ke dnu. Měrná hmotnost vypouštěných odpadních vod je i přes vyšší míru znečištění většinou nižší, než měrná hmotnost povrchové vody. To je dáno tím, že odpadní vody jsou většinou teplejší (měrná hmotnost se se vzrůstající teplotou snižuje) než voda povrchová. Vlečka znečištění je pak většinou viditelná na hladině. V letních měsících, kdy je teplota povrchové vody v toku nejvyšší, může ale nastat případ, kdy je odpadní voda studenější a znečištění se vnoří a postupuje v toku směrem ode dna k hladině. V takovém případě dochází k promísení znečištění v toku rychleji.

### 3.2.2 Charakteristiky toku

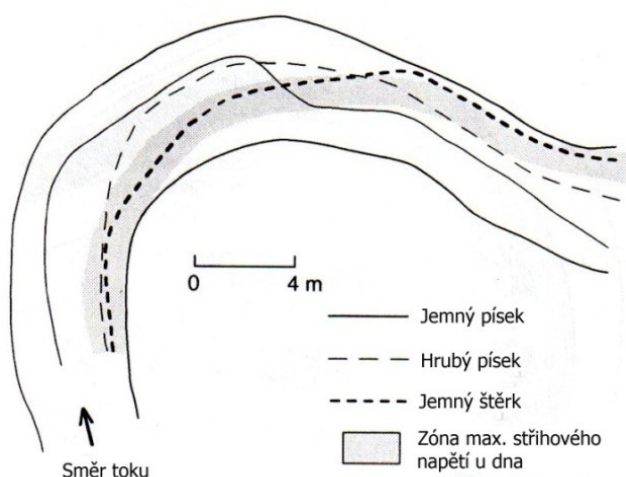
#### Šířka toku

Má na rozsah mísící zóny rozhodující vliv. Čím širší je tok, tím delší je oblast potřebná pro úplné promísení znečištění povrchové vody. V tocích širokých několik desítek metrů délka mísící zóny až několik kilometrů. Difuze a advekce znečištění do nezasažené části toku je za ustálených podmínek proudění pozvolná; hranice mezi zasaženou a nezasaženou částí toku je ostrá.

#### Hloubka toku

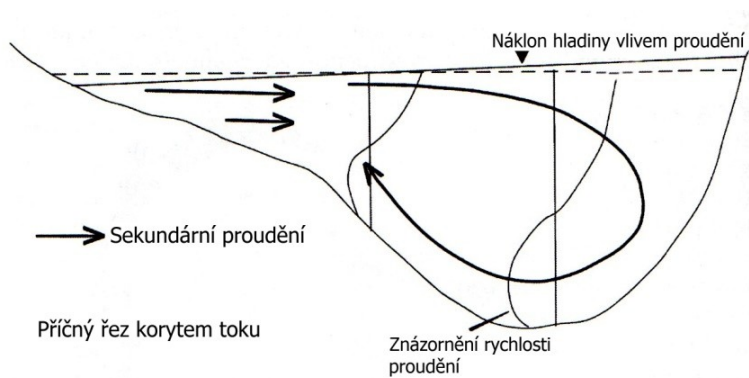
Hloubka toku ovlivňuje promísení ve vertikálním i horizontálním směru. Většina vodních toků v ČR má malou hloubku, proto k vertikálnímu promísení znečištění dochází velice záhy pod místem úniku/ vypouštění. Rozsah 3D mísení se omezuje na metry, maximálně desítky metrů. Pouze u našich největších toků, které dosahují hloubky 2–3 m (zvl. splavné řeky, na nichž je realizována vodní plavba, nebo v místě vzdutí) je 3D mísení délkově významnější a je ovlivněno také měrnou hmotností mísených kapalin a jejich teplotou.

Hloubka toku se v čase mění s velikostí průtoku. Nižší hloubka toku rozsah mísící zóny prodlužuje. U meandrujících řek a řek s nepravidelným korytem není hloubka v příčném profilu toku konstantní, ale mění se v závislosti na změny směru proudnice, kterou je transportován říční sediment a ukládán v klidnějších částech toku.



Obr. 2 Znázornění transportu a rozložení říčního sedimentu v meandrujícím toku, jak jej pozoroval Powell D.M. [7] v tocích se štěrko-písčitém dnem (pohled shora)

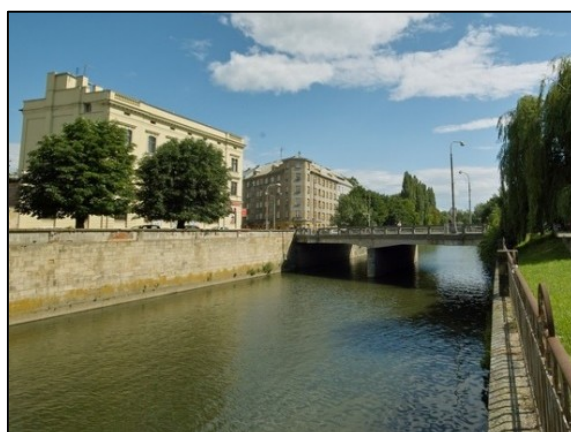
Proudnice v toku znázorněného schematicky na Obr. 2 probíhá v místech maximálního střihového napětí dna. Směr proudu a tvar koryta v místě ohybu toku jsou znázorněny na Obr. 3. V proudnici dochází nejen k transportu sedimentu, ale i k jeho vymílání, a tím k prohlubování dna. Nepravidelnosti toku podporují advekci a tím i lepší mísení.



Obr. 3 Znázornění primárního a sekundárního proudění v příčném řezu meandru jak jej pozoroval Powell D.M. [7] v tocích se štěrko-písčitým dnem



Obr. 4 Příklad opevnění svahů vodních toků záhozovou patkou (řeka Bělá v Mikulovicích)



Obr. 5 Příklad obdélníkového koryta (řeka Morava v Olomouci)

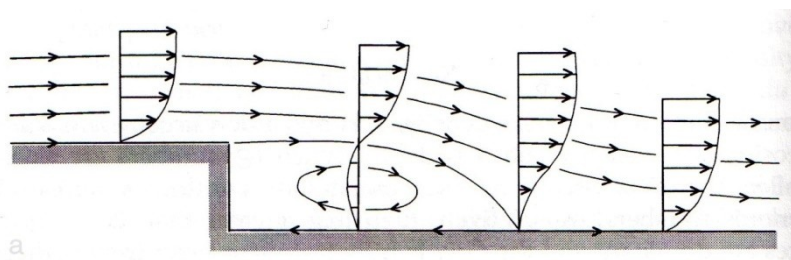
V upravených tocích (v minulosti často napřimovaných) má tvar koryta zpravidla lichoběžníkový tvar. V intravilánech obcí jsou břehy toků často zpevňovány záhozovou patkou, kamenným obkladem nebo betonem. Pak převládá v těchto lokalitách lichoběžníkový nebo obdélníkový tvar koryta.

#### *Objekty v toku*

Z hlediska řešení problematiky mísící zóny jsou míněny takové objekty, které mohou průběh mísení přímo ovlivnit. Jedná se o vodní díla malého rozsahu: stupně, jezy, mostní

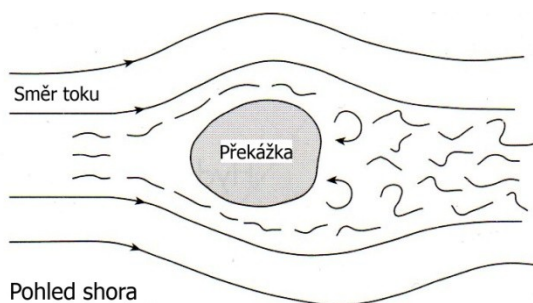
pilíře, malé vodní elektrárny, a objekty přírodního charakteru: aluviální nánosy v toku vzniklé transportem sedimentů nebo ostrovy vzniklé fragmentací toku. Objekty vytvořené člověkem menší či větší měrou přispívají k intenzivnějšímu promíchávání a rozsah mísící zóny zkracují. Objekty přírodního původu přispívají k intenzivnějšímu mísení v případech, kdy se vlečka znečištění nachází v té části toku, která je přítomnými objekty významně zúžena.

Za stupněm dochází ke změně proudění jednotlivých vrstev vodního sloupce a to ovlivňuje především vertikální mísení, jak ukazuje Obr. 6.



Obr. 6 Příklad separace proudu za stupněm podle Allena J.R.L. [8]. Svislice znázorňují rychlost a směr proudění.

V případě velkých objektů v proudnici (mostní pilíř, balvany o velikosti srovnatelné s hloubkou toku) dochází k separaci proudění kolem překážky a jeho změně od laminárního k turbulentnímu, což napomáhá hlavně horizontální difuzi (Obr. 7).



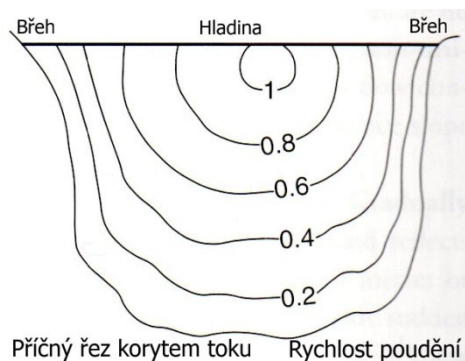
Obr. 7 Příklad separace proudu vlivem překážky podle Morisawa M. [9] (pohled shora)

K nejintenzivnějšímu mísení dochází ve vodní elektrárně vtokem na turbínu, zvláště pokud je do ní sveden veškerý proud (podle místních podmínek).

Objekty přirozeného původu jsou v podmínkách ČR typické především pro mělké toky v horských a podhorských oblastech s vysokou dynamikou vody a významným transportem říčního sedimentu. V těchto případech je pro mísení rozhodujícím faktorem spíše drsnost dna než nepravidelnost koryta a separace proudu.

### Velikost průtoku

Průtok vyjadřujeme v  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Je měřen ve vodoměrných stanicích provozovaných ČHMÚ nebo správci povodí. V kterémkoliv místě v toku je měřitelný pomocí vodoměrné vrtule, v malých tocích pomocí měrného přelivu. V horních částech toku charakteristického



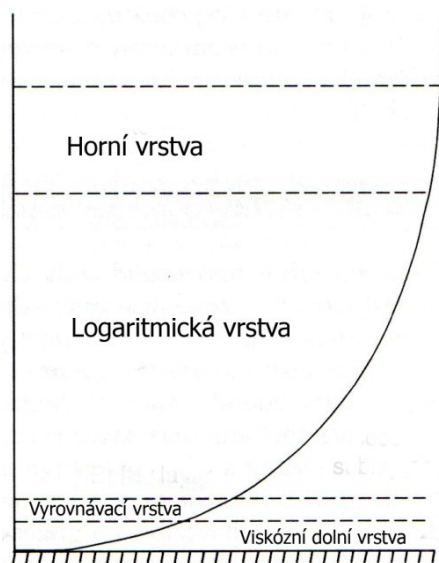
Příčný řez korytem toku Rychlost proudění

Obr. 8 Rozložení rychlosti proudění v toku podle Knightona D. (příčný řez)

vysokým spádem, nepravidelností toku a vysokou drsností dna převládá turbulentní proudění. V nížině se tok zklidňuje a převládá laminární proudění.

Rychlost proudění v toku není konstantní. V ustáleném proudu je nejvyšší vprostřed toku při hladině a nejnižší u břehu a u dna vlivem tření a odporu způsobeného nerovnostmi a objekty v toku.

Rozložení rychlosti proudění v příčném profilu toku podle Knightona D. [10] je vidět na Obr. 8.



Obr. 9 Průběh rychlosti proudění v toku podle Roberta, (podélný řez)

Pokud se podíváme za průběh rychlosti turbulentního proudění v podélném řezu (Obr. 9), zjistíme, že v horní vrstvě vodního sloupce je rychlost přibližně konstantní, směrem ke dnu se postupně snižuje, aby nejnižší byla v místech kontaktu vodního sloupce s materiálem dna. Robert A. [11] nazývá tuto vrstvu jako viskózní a je pro ni charakteristické převládající laminární proudění za předpokladu, že dno nevykazuje příliš vysokou drsnost. To je splněno pouze v kanálech a tocích s upraveným dnem. Dnové objekty větší než pětinasobek šířky dolní viskózní vrstvy již způsobují turbulentní charakter proudění.

Se vzrůstajícím průtokem roste rychlost proudění vody v korytě toku a intenzita mísení se vlivem turbulencí zvyšuje. Ke zkrácení délky mísící zóny nemusí ale dojít, protože může být kompenzováno rychlejším prouděním vody. Naopak při nízkých průtocích se



v mělkých tocích výrazně uplatňuje drsnost koryta, která zapříčiňuje lepší promísení a zkracování mísící zóny.

### *Morfologie toku*

Morfologie nebo také hydromorfologie toku má rozhodující vliv na charakter proudění vody v korytě a tím i na rozsah mísící zóny. Pro termín hydromorfologie existuje mnoho pojetí, proto je obtížné ji přesně definovat [12]. V Rámcové směrnici pro vodní politiku Společenství 2000/60/ES, je definována jako „*hydrologické charakteristiky toků společně s fyzickou strukturou, kterou vytvářejí*“, jedná se tedy o spojení hydrologických a geomorfologických parametrů. Bylo vyvinuto několik klasifikačních hydromorfologických schémat pro hodnocení vodních toků, které jsou ve světě i u nás používány. Pro účely této práce však postačí zmínit ty hlavní, které specifikuje výše uvedená Rámcová směrnice:

1. hydrologický režim
  - velikost a dynamika proudění vody
  - propojení na útvary podzemní vody
2. kontinuita toku
3. morfologické podmínky
  - proměnlivost šířky a hloubky koryta
  - struktura a substrát dna toku
  - struktura příbřežní zóny

### Ad 1) Hydrologický režim

Zcela odlišná je dynamika horských a podhorských toků s vysokou sklonitostí dna ve srovnání s prouděním vody v údolních nivách a nížinách. V horských a podhorských oblastech se v toku nachází četné kaskády, stupně různé výšky, tůně a aluviální objekty vznikající transportem sedimentů. Stupně mají vliv na rychlost proudění vody v jednotlivých výškách vodního sloupce.

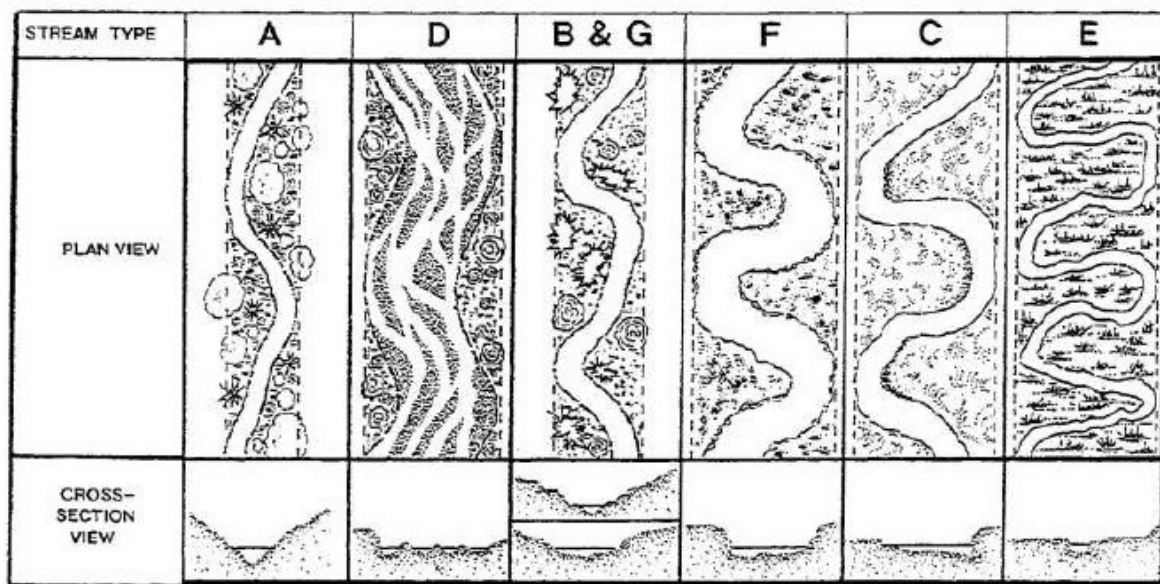
Charakter proudění je ovlivněn také typem koryta: zda je přírodní nebo se jedná o umělý kanál s definovaným geometrickým tvarem. V přírodních tocích s vysokým sklonem převládá turbulentní proudění, které postupně přechází v laminární proudění v nížinách.



S čistě laminární prouděním se však můžeme setkat jen u pravidelného a hladkého nebo málo drsného koryta. Při turbulentním proudění dochází k rychlejší difúzi znečištění ve vertikálním i horizontálním směru.

#### Ad 2) Kontinuita toku

Na zkrácení rozsahu mísící zóny má vliv křivolakost (meandrování) toku, která je také jedním ze základních prvků hydromorfologické typologie. Např. Rosgen D.L. [13] rozlišuje 7 základních typů křivolakosti toků A až G (Obr. 10). Čím větší jsou nepravidelnosti koryta (zakřivení, nepravidelnost šířky toku), tím intenzivnější je mísení znečištění s povrchovou vodou.

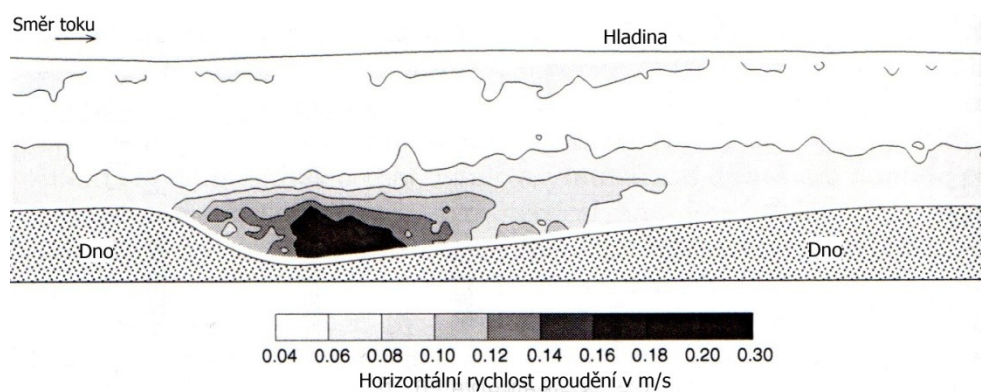


Obr. 10 Křivolakost toků podle D.L. Rosgena [13]

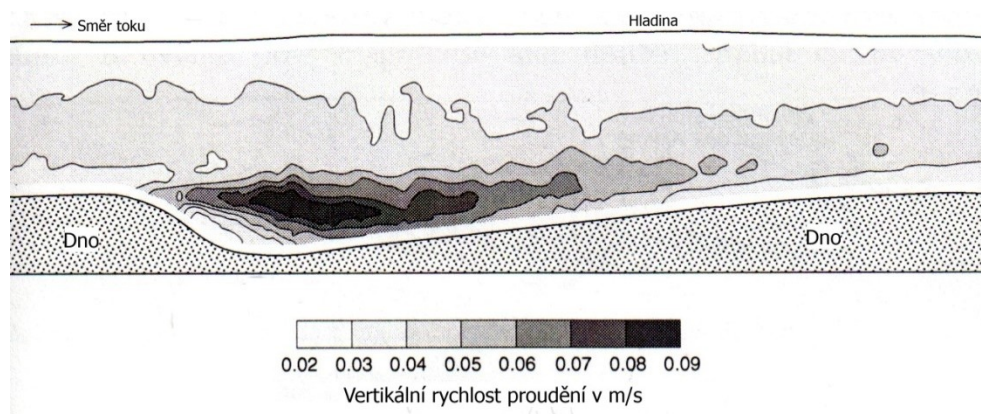
#### Ad 3) Morfologické podmínky

Hloubka toku nebývá konstantní, ale mění se vlivem dynamiky proudění především v tocích s vyšší sklonitostí a malou hloubkou. I v relativně pravidelném (málo zakřiveném) korytě se pak můžeme setkat s častými změnami proudění hlavního proudu nebo jeho větvením do několika proudů. U meandrujících toků dochází na vnější straně meandru k významné erozi břehu a k následnému ukládání transportovaného materiálu za vnitřní stranou meandru (Obr. 2 a Obr. 3).

U nížinných toků je změna hloubky působená vlivem transportu jemného sedimentu, který se ukládá v místech s malou rychlostí proudu. V proudnici se vytvářejí malé nebo větší „duny“ [11]. Změna hloubky v korytě má vliv na lepší promísení ve vertikálním i horizontálním směru ve vrstvách vodního sloupce nade dnem a rovněž tehdy, když je příčinou změn směru toku. Toto tvrzení podepřeli experimenty v laboratorních podmínkách Bennett, S.J. a Best, J.L. [14], když zkoumali intenzitu turbulencí vlivem nerovnosti dna. Výsledky jsou vizualizovány na Obr. 11 a Obr. 12.



Obr. 11 Zobrazení intenzity turbulentního proudění změnou rychlosti v horizontálním směru vlivem dnové nerovnosti (výška písečné duny 4 cm, délka 63cm). Uměle vytvořený kanál v laboratorních podmínkách (podle S.J. Bennetta a J.L. Besta [14]).



Obr. 12 Zobrazení intenzity turbulentního proudění změnou rychlosti ve vertikálním směru vlivem dnové nerovnosti (výška písečné duny 4 cm, délka 63cm). Uměle vytvořený kanál v laboratorních podmínkách (podle S.J. Bennetta a J.L. Besta [14]).

Rychlost proudění ve vertikálním směru je zhruba 3 x nižší než v horizontálním směru. K promísení ve vertikálním směru však zpravidla dochází záhy pod výpustí nebo místem havarijního úniku, protože v ČR převládá hloubka malá vodních toků.

Struktura příbřežní zóny nemá na průběh mísící zóny významný vliv. Při havarijním úniku je však významně poškozena, zvláště pokud se jedná o únik ropných látek, které ulpívají na břehových strukturách a vegetaci.

Struktura a substrát dna koryta je vedle šířky koryta jedním z nejvíce rozhodujících faktorů ovlivňujícím mísení v tocích. S tím úzce souvisí problematika stanovení hydraulického odporu koryta. Tato problematika bude podrobněji zmíněna v další části práce.

### *3.3 Jednoduché postupy výpočtu rozsahu mísící zóny*

Mísení znečištění v tocích je řízeno advekcí a difúzí. Advekcí se rozumí transport kontaminantu spolu s pohybující se povrchovou vodou, kde rychlost transportu odpovídá rychlosti proudění povrchové vody. Difúze je transportní proces, při kterém se kontaminant pohybuje z místa o vyšší koncentraci do místa o nižší koncentraci. Na mísení se podílí samozřejmě další faktory, které již byly zmíněny v předchozím textu. Ty podporují advekci, která je zcela převládajícím jevem při mísení znečištění v tocích.

Během posledních padesáti let byla dynamika mísení znečištění v tocích solidně pochopena mnoha autory [15–17]. Závěry jejich výzkumů a experimentů vedly k jednoduchému matematickému vyjádření odhadu délky mísící zóny.

Proudění v tocích je charakteristické turbulentemi, tj. více či méně vířivým pohybem, který se výslednicí působících sil mění na průměrný průtok. Šíření a mísení hmoty je řízeno aktivitami víření, které může být popsáno analogicky jako mísení molekul pomocí skutečné turbulentní difuze  $E$ . Ta je výslednicí rychlosti  $u'$  a velikosti převládajících vírů  $l$  [18]:

$$E \sim u' \cdot l \quad \text{vztah (3)}$$

Proti proudu působí tzv. stříhové napětí dna, tj. odpor dna proto směru proudění (Obr. 9).

Velikost stříhového napětí se dá vyjádřit jako:

$$\tau_o = \gamma \cdot h \cdot S \quad \text{vztah (4)}$$

kde je:

$h$  průměrná hloubka toku

a kde specifická hmotnost vody  $\gamma$ :

$$\gamma = \rho \cdot g \quad \text{vztah (5)}$$

kde je:

$\rho$  měrná hmotnost vody

$g$  gravitační zrychlení

a kde sklon (spád) dna  $S$ :

$$S = \sin \alpha \quad \text{vztah (6)}$$

Pro další výpočty je potřeba znát třecí rychlost  $u_*$ , která je daná následovně:

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_o}{\rho}} \quad \text{vztah (7)}$$

Dosazením vzorce (4) do vztahu (7) dostaneme třecí rychlost vyjádřenou jako:

$$u_* = \sqrt{g \cdot h \cdot S} \quad \text{vztah (8)}$$

Třecí rychlost  $u_*$  je srovnatelná s průměrnou rychlostí proudění v toku  $U$  a podle stupně drsnosti dna činí 5 až 10 %  $U$  ( $u_* = 0,05U$  až  $0,10U$ ) s vyšší hodnotou pro drsnější dno.

Velké víry, které jsou svou velikostí srovnatelné s hloubkou toku ( $l \sim h$ ), jsou pro mísení nejvíc účinné. Nadto, struktura vírů je charakteristická určitou prostorovou anizotropií; jejich rozsah ve vertikálním směru  $z$  je silněji omezen, než víry v horizontálním směru  $y$ , které „leží“ příčně ke směru proudění  $x$ . Je to zřejmé z následujícího vyjádření vertikální a horizontální difuze.

Vertikální difuze  $E_z$  vířením je charakterizována vztahem:

$$E_z = \alpha_z \cdot u_* \cdot h \quad \text{vztah (9)}$$

a kde koeficient  $\alpha_z$  nabývá podle Rutherforda hodnot  $0,07 \pm 50$  % [17].

Horizontální difuze  $E_y$  vířením je dána obdobně:

$$E_y = \alpha_y \cdot u_* \cdot h \quad \text{vztah (10)}$$

a kde koeficient  $\alpha_y$  nabývá podle Fischera pro toky se střední variabilitou (bez velkých meandrů a podélných „mrtvých zón“ proudění vody) hodnot  $0,5 \pm 50 \%$  [15].

Polutant se v toku od bodu úniku nebo vypouštění začíná díky advekci a difúzi šířit ve vertikálním i horizontálním směru, a to až do doby, kdy dojde k maximální možné difúzi, tj. v celé hloubce (vertikální směr) a v celém příčném (horizontálním) profilu toku, tj. od jednoho břehu k druhému.

Vertikální promísení nastává výrazně dříve vlivem toho, že šířka toku je mnohonásobně větší než jeho hloubka ( $B \gg h$ ). Pro výpočet délky vertikálního mísení je nejčastěji prezentován vztah Fischerův [15]:

$$L_{mv} = 0,4 \frac{U \cdot h^2}{E_z} \quad \text{vztah (11)}$$

kde je:

$U$  průměrná rychlost proudění vody v toku v  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

$h$  průměrná hloubka toku v m

$E_z$  vertikální difuze v  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Dosazením vzorce (9) za  $E_z$  a volbou  $\alpha_z = 0,07$  a  $u_* = 0,1U$  dostaneme přibližný rozsah délky vertikálního mísení:

$$L_{mv} = 57h \quad \text{vztah (12)}$$

Příklad 1:

Pokud průměrná hloubka toku činí 2 m, pak délka vertikálního mísení při  $\alpha_z = 0,07$  a  $u_* = 0,1U$  činí  $L_{mv} = 57 \cdot 2 = 114$  metrů.

Nás bude zvláště zajímat, kdy nastane úplné horizontální promísení, tj. jaká je délka mísící zóny  $L$ , protože  $B \gg h$ . Pro výpočet délky horizontálního mísení je nejčastěji prezentován rovněž vztah Fischerův [15], který je přejímán i Jirkou [18]:

$$L_{mh} = 0,4 \frac{U \cdot B^2}{E_y} \quad \text{vztah (13)}$$

kde je:

$U$  průměrná rychlost proudění vody v toku v  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

$B$  průměrná šířka toku v metrech

$E_y$  horizontální difuze v  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Dosazením vztahu (10) za  $E_y$  do vztahu (13) dostaneme:

$$L_{mh} = 0,4 \frac{U \cdot B^2}{\alpha_y \cdot u_* \cdot h} \quad \text{vztah (14)}$$

kde je

$\alpha_y$  koeficient nabývající hodnot  $0,5 \pm 50 \%$  (0,25 až 0,75); záleží na typu a nepravidelnosti koryta; čím je koryto více nepravidelné, tím vyšších hodnot koeficient nabývá

$u_*$  třecí rychlost, zpravidla činí 5 až 10 % průměrné rychlosti proudění toku; čím je dno toku drsnější, tím vyšší je hodnota třecí rychlosti

Hodnota 0,4 ve vztahu (14) je nahrazena koeficientem  $m$ :

$$L_{mh} = m \frac{U \cdot B^2}{\alpha_y \cdot u_* \cdot h} \quad \text{vztah (15)}$$

kde je:

$m$  parametr, který závisí na umístění výpustního potrubí v recipientu; pokud je výpust u břehové linie, je hodnota  $m = 0,4$ ; pokud je výpust umístěna uprostřed toku, je hodnota  $m = 0,1$ .

Vztah (14) nebo (15) je nejuniverzálnějším a nejčastěji publikovaným vztahem pro výpočet délky mísící zóny. Je třeba zdůraznit, že při výpočtech se pracuje s idealizovaným korytem z hlediska jeho tvaru v celém posuzovaném úseku toku a se středními hodnotami hloubky a šířky toku.

Příklad 2:

Pro velký tok: pokud průměrná hloubka toku činí 2 m, šířka 100m, průměrná rychlost proudění  $0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , pak délka horizontálního mísení  $L_{mh}$  při  $\alpha_y = 0,5$  a  $u_* = 0,1U$  činí:

$$L_{mh} = 0,4 \frac{U \cdot B^2}{\alpha_y \cdot u_* \cdot h} = 0,4 \frac{0,3 \cdot 100^2}{0,5 \cdot 0,03 \cdot 2} = 0,4 \frac{3000}{0,03} = 40\,000\,m$$

Příklad 3:

Pro malý nepravidelný tok průměrné hloubky 0,5 m, šířky 5m, průměrné rychlosti proudění  $0,3\,m^3 \cdot s^{-1}$ , délka horizontálního mísení  $L_{mh}$  při  $\alpha_y = 0,75$  a  $u_* = 0,1U$  činí:

$$L_{mh} = 0,4 \frac{U \cdot B^2}{\alpha_y \cdot u_* \cdot h} = 0,4 \frac{0,3 \cdot 10^2}{0,75 \cdot 0,03 \cdot 0,5} = 0,4 \frac{7,5}{0,01125} = 267\,m$$

Délku horizontálního mísení se snažili odvodit i další autoři uvedení např. v [19]. Kilpatrick vztah odvodil na základě pokusů se stopovací látkou (barvivem), které aplikoval v centrální části toku nebo při jeho okrajích [20]. Vztah (16) reprezentuje aplikaci barviva při okrajích toku.

$$L_{mh} = 2,6 \frac{U \cdot B^2}{h} \quad \text{vztah (16)}$$

Vztah Yotsukurův je obdobný [21]:

$$L_{mh} = 8,56 \frac{U \cdot B^2}{h} \quad \text{vztah (17)}$$

Vztah Sandersův je definován pro přímé kanály/toky:

$$L_{mh} = \frac{U \cdot B^2}{u_* \cdot 2 \cdot 0,23h} \quad \text{vztah (18)}$$

Faktor 2 ve vztahu (19) zohledňuje efekt „odrazu“ znečištění od břehu zpět do proudnice toku. Ostatní členy ve vztahu byly vysvětleny v předcházejícím textu.

Vztah Ruthvenův je obdobný jako vztah Sandersův:

$$L_{mh} \geq 0,075 \frac{U \cdot B^2}{u_* \cdot 0,23h} \quad \text{vztah (19)}$$

Všechny výše uvedené vztahy (15) až (19) vycházejí z podmínky kontinuálního vnosu znečištění ze břehu. Hodnoty délky mísící zóny stanovené podle uvedených autorů se mohou značně lišit. Jejich ověření na konkrétních případech je uvedeno dále v experimentální části této práci.

### 3.4 Výpočet tvaru vlečky znečištění

V předchozím textu bylo pojednáno o výpočtu rozsahu neboli délce mísící zóny od bodu jejího vzniku po bod, ve kterém je již koncentrace znečištění konstantní v celém příčném profilu toku. Neméně důležité je znát nebo predikovat tvar vlečky znečištění, protože je zřejmé, že v oblasti mísení budou vedle sebe koexistovat znečištěním zasažená a nezasazená část toku.

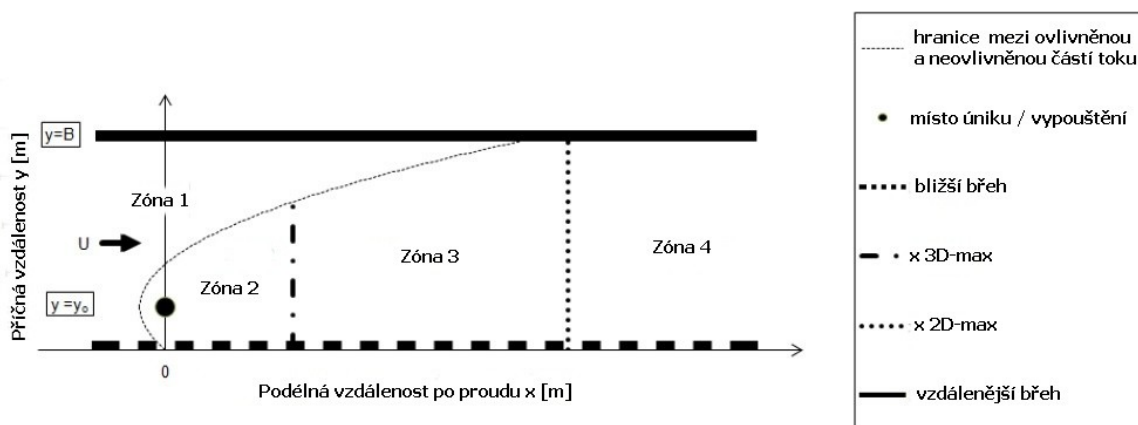
Obecně můžeme rozlišovat 4 zóny:

Zóna 1 Únikem nebo vypouštěním nezasazená oblast toku

Zóna 2 Oblast 3D mísení (tj. ve vertikálním i horizontálním směru současně)

Zóna 3 Oblast 2D mísení (tj. pouze v horizontálním směru); ve vertikálním směru je již mísení dokončeno

Zóna 4 Oblast 1D mísení; rozhraní zón 3 a 4 je oblastí konce mísící zóny, v další části toku dochází k eliminaci znečištění vlivem postupného ředění, případně dalšími vlivy (odtékávání, sedimentace, biotické nebo abiotické degradace, fotodegradace, apod.).



Obr. 13 Náčrt mísení znečištění v toku směrem po proudu (podle [22])

Predikci koncentrace v závislosti na vzdálenosti od místa úniku nebo vypouštění se zabývali již Jirka [16] a Rutherford [17]. Pro maximální koncentraci polutantu ve vlečce znečištění odvodili následující vztah:



$$c_{max} = 2 \frac{Q_{co}}{h \sqrt{4 \pi E_y U x}} \quad \text{vztah (20)}$$

kde je:

$Q_{co}$  hmotnostní tok (průtok) ze zdroje znečištění v  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

$x$  vzdálenost od místa úniku/vypouštění v metrech

Jak již bylo v předchozím textu řečeno, na rozprostírání znečištění v řece se podílí dva základní procesy: difúze a advekce.

Difúzní tok je specifikován 1. Fickovým zákonem: vyjadřuje velikost difúzního toku  $j$  jako počet molů dané látky, který projde jednotkovou plochou za jednotku času:

$$j = \frac{n}{S \cdot t} \quad \text{vztah (21)}$$

kde je:

$j$  difúzní tok v  $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

$n$  látkové množství v molech

$S$  plocha v  $\text{m}^2$

$t$  čas v sekundách

1. Fickův zákon se dá vyjádřit také ve tvaru:

$$j = -D \frac{\partial c}{\partial x} \quad \text{vztah (22)}$$

kde je:

$D$  difúzní koeficient v  $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

$\partial c$  změna koncentrace

$\partial x$  změna času

Vztah (22) platí pro jednorozměrný případ. Záporné znaménko gradientu znamená transport z místa o vyšší koncentraci do místa o koncentraci nižší. Vztah mezi difúzním tokem a koncentrací na základě 1. Fickova zákona je pak pro jednorozměrný systém (1D):

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad \text{vztah (23)}$$

a pro trojrozměrný systém (3D):

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \left[ \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right] \quad \text{vztah (24)}$$

Doted' jsme uvažovali stacionární kapalinu a pohyb hmoty byl realizován pouhou vlastní difúzí. Difúzní koeficient byl konstantní pro všechny 3 směry proudění (viz jeho vyjádření před závorkou ve vztahu 24). V dalším kroku přiblížení se podmínkám v toku je nezbytné zahrnout pohyb kapaliny – její proudění rychlostí  $u$ . Šíření znečištění za přičinku pohybu kapaliny nazýváme adjektivní difúzí. Transport hmoty na jednotku plochy rychlostí  $u$  ve směru  $x$  můžeme pro advekci definovat následovně:

$$q = U \cdot C \quad \text{vztah (25)}$$

kde je:

$C$  koncentrace polutantu v proudu v  $\text{kg.m}^{-3}$

$U$  průměrná rychlost proudění v  $\text{m.s}^{-1}$

Transport hmoty (znečištění) při zapojení obou procesů (difúze a advekce) v jednom směru pak vyjádříme vztahem:

$$q = U \cdot C + \left[ -D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \right] \quad \text{vztah (26)}$$

Proces disperze znečištění z úniku probíhajícího kontinuálně nebo po dostatečně dlouhou dobu má v turbulentním proudění třírozměrný charakter ( $E_x$ ,  $E_y$ ,  $E_z$ );  $x$  reprezentuje podélný směr ve směru proudění toku,  $y$  příčný směr (napříč tokem kolmo na směr proudění) a  $z$  vertikální směr. Advektivně-disperzní rovnice pro řešení pohybu znečištění v toku může pak být popsána následovně:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} = E_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + E_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + E_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \quad \text{vztah (27)}$$

kde je:

$C$  koncentrace polutantu v proudu unikající kapaliny nebo vypouštěné odpadní vody v  $\text{kg.m}^{-3}$  nebo v %

$U$  průměrná rychlost proudění v toku v  $\text{m.s}^{-1}$

$E_x, E_y, E_z$  disperzní koeficienty pro jednotlivé směry šíření  $x, y, z$  v  $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$

Šajer [22] doplňuje rovnici (21) o další členy na tvar:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = E_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + E_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + E_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} + S + f_R(C, t) \quad \text{vztah (28)}$$

kde:

$S$  představuje vstup dalších vstupů, jako jsou: přítoky hlavního toku, další vypuštění z komunálních nebo průmyslových zdrojů nebo dalších úniků

$f_R$  představuje procesy fyzikální nebo jiné povahy, které mohou během mísení probíhat (např. sedimentace nerozpuštěných látek, odtěkávání polutantu z hladiny, atenuace polutantu, apod.).

Koncentrace v bodě charakterizovaném souřadnicemi  $x, y, z$  může být postupem podle [15] vyjádřena ve tvaru:

$$C(x, y, z) = \frac{M}{4\pi D x} \exp \left[ -\frac{(y^2 + z^2)U}{4Dx} \right] \quad \text{vztah (29)}$$

kde je:

$M$  vstupní hmotnostní tok za jednotku času

Protože v řekách je stěžejní disperze znečištění ve směru  $x$  (podélný profil) a  $y$  (příčný profil), můžeme rovnici (29) zjednodušit na tvar:

$$C(x, y, z) = \frac{M}{4\pi D x} \exp \left[ -\frac{y^2 U}{4Dx} \right] \quad \text{vztah (30)}$$

$M$  pak představuje hmotnostní tok bodového zdroje znečištění/úniku v jednotkách hmotnosti na jednotku délky za čas.

Pokud platí, že

$$C_o = \frac{M}{U h B} \quad x' = x E_x \bar{u} \quad y' = \frac{y}{B} \quad \text{vztah (31)}$$

kde je:

$C_o$  počáteční koncentrace polutantu v místě úniku/vypouštění

$\bar{u}$  průměrná rychlost proudění v příčném profilu toku

$x'$  podélná vzdálenost od místa úniku/vypouštění

$y'$  příčná vzdálenost od místa úniku/vypouštění

pak je distribuce koncentrace v mísící zóně směrem po proudu daná superpozicí:

$$\frac{c}{c_0} = \frac{1}{\sqrt{4\pi x'}} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \{e^{[-(y'-2n-y_0)^2/4x']} + e^{[-(y'-2n+y_0)^2/4x']}\} \quad \text{vztah (32)}$$

kde platí, že  $y = y_0$  a  $y' = y'_0$ .

Vztah (32) je základní rovnicí, která je hojně používána při modelování koncentrace polutantu v tocích, protože dovoluje popsat koncentraci v libovolném bodě  $x, y$  v oblasti mísení, a to až do té části toku (hranice), kde je již koncentrace v celém příčném profilu konstantní.

### 3.5 Právní rámec problematiky

Problematika mísení znečištění v řekách je intenzívně řešena od 70. let minulého století [15–19]. Závěry těchto prací vycházejí z modelových laboratorních pokusů i z terénního ověřování pomocí vhodné stopovací látky. V poslední době, kdy byly směrnici Evropského parlamentu a Rady 2008/105/ES přijaty tzv. normy environmentální kvality (NEK) – standardy pro jakost povrchových vod na úrovni Společenství [2], vyvstal požadavek na možnost vymezení přechodných oblastí překračování těchto norem v místech bezprostředně navazujících na místa vypouštění. Je totiž zřejmé, že proces mísení odpadní a povrchové vody probíhá po určitou dobu a není vždy možné, aby byly NEK plněny bezprostředně pod místem vypouštění odpadních vod.

Možnost vymezit úsek překračování NEK v oblasti mísící zóny je relevantní z hlediska evropské legislativy především v místech nad reprezentativním profilem, protože v tomto profilu se hodnotí stav vodního útvaru a v případě jeho neplnění je nutné specifikovat a následně realizovat opatření vedoucí k dosažení dobrého stavu povrchových vod.

Možnost vymezit mísící zónu se legislativně týká tzv. prioritních látek pro vodní prostředí a některých dalších znečišťujících látek, pro které jsou NEK stanoveny jednotně pro všechny členské státy Společenství a slouží pro hodnocení chemického stavu. Jejich seznam a příslušné NEK podle aktualizované evropské legislativy [3] jsou uvedeny v Příloze A. Požadavek na vymezení mísících zón směrnice 2008/105/ES byl v ČR transponován do § 6 vyhlášky č. 98/2011 Sb., v platném znění [23].

Rozsah mísící zóny musí podle [2 a 23] být:

- omezen na okolí přilehlé k místu vypouštění,
- přiměřený s ohledem na koncentrace znečišťujících látek v místě vypouštění,
- v souladu s podmínkami týkajícími se emisí znečišťujících látek podle vyhlášky č. 24/2011 Sb., o plánech povodí a plánech pro zvládání povodňových rizik, v platné znění (zvl. opatření podle § 4 odst. 1 písm. h) vyhlášky),
- v souladu s použitím nejlepších dostupných technik.

## 4. Experimentální část

Experimentální část je co do rozsahu podstatnou částí disertační práce. Zahrnuje výběr toků pro ověření rozsahu mísicí zóny v ČR, vhodné metody pro její zjišťování v terénních podmínkách, vlastní terénní měření, zpracování výsledků a jejich srovnání s vhodně zvolenou metodou pro predikci mísicí zóny bez nutnosti rozsáhlých terénních prací. Experimentálně zjištěná data byla konfrontována s výpočty rozsahu mísicí zóny podle vybraných vztahů uvedených v teoretické části práce. Práce byly završeny zpracováním metodického postupu pro predikci mísicí zóny a vymezení tzv. regulační mísicí zóny, tj. úředně stanoveného rozsahu mísicí zóny s ohledem na ochranu vodního prostředí a požadavky užívání vod. Pro predikci znečištění v oblasti mísicí zóny byl využit také tzv. Český imisní test (CIT), do jehož vývoje autor této práce zasahoval pouze částečně. Výsledky měření a výstupy práce byly publikovány a prezentovány na národní a mezinárodní úrovni.

### 4.1 Experimentální ověření délky mísicí zóny na tocích ČR

#### 4.1.1 Výběr vodních toků

Území České republiky je pramennou oblastí významných evropských vodních toků: Labe, Dunaje (Morava a Dyje) a Odry. Je proto charakteristické převážně malými až středně velkými toky a jen dolní úseky našich největších řek můžeme nazývat „velkými“ (s průtokem  $Q_{330} = 100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a vyšším). Průtok  $Q_{330}$  je takový průtok, který je roven nebo vyšší po 330 dní v roce, což představuje přibližně 90 % roční doby. Protože zpracovávaný metodický postup pro predikci mísicí zóny měl mít celostátní působnost, bylo potřeba vybrat dostatečný počet různých typů vodních toků z hlediska řádu toku, šířky, morfologie a antropogenního ovlivnění.

Celkem bylo vybráno 20 toků na území ČR (23 lokalit), reprezentující malé, střední i velké toky o různé šířce, hloubce a morfologii koryta. Byly vybrány lokality na tocích Lučiny, Opustý, Opavy, Olše, Bohumínské Stružky, Ostravice, Odry (v povodí Odry), Bečvy (povodí řeky Moravy), Bíliny, Ploučnice, Zdobnice, Labe (povodí řeky Labe), kde byly za různých hydrologických podmínek reprezentujících nízký stav vody experimentálně

ověřovány rozsahy mísící zóny pod významnými zdroji znečištění. Přehled lokalit je uveden v Příloze B. Jedná se o štěrkonosné podhorské toky (Morávka, Zdobnice) i typicky nížinné (střední část Labe, Odra, Bílina) o šířce 1 až 100 m a hloubce od 0,1 do 3 m. Z hlediska typu území jde o lokality v přírodní krajině, antropogenně silně ovlivněné krajiny důlní a průmyslovou činností, intravilány obcí; úseky toků přímých, meandrujících, s přírodními břehy, břehy upravenými rovinaninou z lomového kamene, záhozovou patkou i kolmou betonovou stěnou. Ve většině ověřovaných toků převládal lichoběžníkový tvar koryta s balvanitým dnem.

Nízké průtokové stavy pro ověřování rozsahu mísící zóny byly zvoleny z důvodu významnějšího ovlivnění vypouštěnými odpadními vodami při těchto průtocích a také z ryze praktického důvodu usnadnění terénního měření vlečky znečištění (většinou brodění). Některé typy ověřovaných vodních toků je možno vidět na následujících obrázcích.



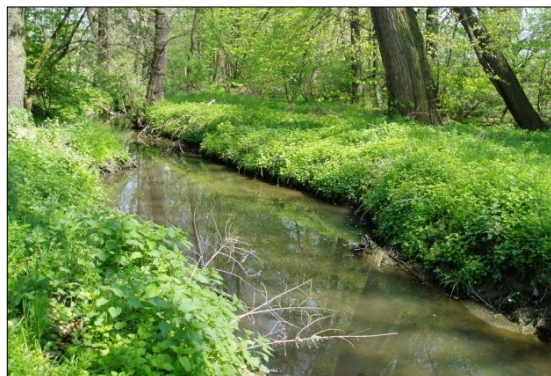
Obr. 14 Labe v Ústí nad Labem



Obr. 15 Odra v Ostravě-Přívoze



Obr. 16 Oslava ve Velkém Meziříčí



Obr. 17 Opusta v Dolním Benešově

#### 4.1.2 Výběr metody pro ověřování rozsahu a tvaru mísící zóny

K mísení odpadní a povrchové vody dochází postupně. Pod místem úniku nebo vypouštění se, jak bylo zmíněno v úvodních kapitolách, vytváří vlečka znečištění. Bezprostředně pod místem zdroje znečištění je tato vlečka často viditelná. Pro účely studia mísení a postupu znečištění v tocích, ale také interakce podzemní a povrchové vody nebo povrchové sladkovodní vody a mořské vody jsou využívány různé metody. Jde o tzv. stopovací pokusy. Můžeme rozlišit několik druhů metod:

1. aplikace stopovací látky na bázi fluorescence a barevnosti
2. aplikace anorganické soli
3. využití vnosu radioaktivní látky
4. využití vnosu primárního znečištění
5. využití rozdílné teploty odpadní nebo použité chladicí a povrchové vody

Ad 1)

Patří k nejrozšířenějším způsobům použití především pro odhad a modelování postupu havarijního znečištění. V ČR je současnosti je používána látka sulforhodamin G. Je to látka, která vykazuje vysokou intenzitu fluorescence a je toxicky zcela nezávadná. Látku lze dobře detekovat pomocí optoelektronických sond či laboratorní analýzou a je velmi vhodná pro stopovací pokusy na dlouhých úsecích vodních toků. Stopovací látka způsobí v místě aplikace změnu barvy vody na červenou až oranžovou. Toto zbarvení však není po několika kilometrech pouhým okem viditelné, ale pouze měřitelné přístroji.

Z konkrétních aplikací můžeme uvést stopovací pokusy na Vltavě a Labi, které proběhly v nedávné minulosti pod gescí podniku Povodí Vltavy, s.p. a Povodí Labe, s.p. za účelem upřesnění rychlosti postupu látky při případném

havarijním znečištění vodního toku. Výsledky budou sloužit ke kalibraci mezinárodního poplachového modelu



Obr. 18 Aplikace sulforhodaminu G jako stopovací látky na Vltavě ve Vraném v r. 2012 [25]



ALAMO, který modeluje šíření závadných látek v toku Vltavy a Labe [24, 25].

V 80. letech byl pro stopovací pokusy v Moravském krasu použit eosin (bromderivát fluoresceinu), který se jinak používá pro barvení histologických materiálů [26].

Ad 2)

Nejčastěji používanou anorganickou látkou je chlorid sodný NaCl. Aplikací látky dojde ke zvýšení konduktivity, která se následně měří terénním konduktometrem. Metoda je dostatečně citlivá a levná, zvláště v málo znečištěných tocích. Je vhodná na rozdíl od předchozí metody výhradně k lokálnímu použití na tocích nižšího řádu (podle Strahlera). Může sloužit i pro stanovení průtoku. Z dalších látek byly např. použity bromid sodný NaBr a chlorid amonný  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Druhá z uvedených látek není ve vodě stálá, jedná se o tzv. reaktivní stopovač. Slouží např. k výzkumu samočištění v tocích [27].

Ad 3)

Druhou nejhojnější metodou je použití izotopů prvků. Tritium – radioaktivní izotop vodíku ( $^3\text{H}$ ) byl využit k posouzení migrace radioaktivních látek v podélném profilu Vltavy a Labe. Tato látka nebyla do toku aplikována jednorázově, ale bylo využito vypouštění odpadních vod z provozu jaderné elektrárny [28]. Obdobně pro studium mísení říční s mořské vody bylo využito např. izotopu chromu  $^{51}\text{Cr}$ , který se do řeky (Columbia River) dostává z provozu jaderné elektrárny [29]. Pro výzkum migrace kovů ve vodním prostředí a říčním sedimentu jsou v zahraničí využívány radioaktivní izotopy vybraných těžkých kovů, např. izotopů kadmia [30].

Ad 4)

Lze také nalézt studie, které pro dispergaci znečištění v tocích používají monitorování primární vypouštění ze zdroje ve vlečce znečištění. Tento způsob je využíván spíše pro studium mísící zóny než pro šíření havarijního znečištění. Např. Vandenberg J.A. zjišťoval rozsah vlečky znečištění pod komunální čistírnou odpadních vod monitorováním několika parametrů znečištění souběžně: orto-fosforečnanů, amoniakálního dusíku, dusičnanů, chloridů, fekálně-koliformních bakterií a konduktivity [31]. Úplného promísení ve vertikálním směru 1,5 m hlubokého toku Bow River bylo dosaženo 30 až 150 m pod výpustí. Úplného promísení v podélném (horizontálním) směru bylo dosaženo 14 km pod

výpustí (pomocí stopovací látky) a 15 km pomocí měření výše uvedených parametrů. Modelem vypočtená délka mísící zóny (Gillott, 1989) dosahovala 6,3 km.

Ad 5)

Teplota povrchové vody a odpadní vody nebo povrchové vody a podzemní vody vykazuje rozdíly, které jsou nejen měřitelné, ale také mohou být využity pro výzkum procesů mísení probíhajících v toku. Tato metoda je zvláště rozšířená při studiu interakce podzemní a povrchové vody [32]. Použitelnost teploty jako stopovače se zde omezuje zpravidla jen na oblast bezprostředně související s místem primárního mísení, nicméně v případě vypouštění výrazně oteplených vod (např. z tepelných elektráren) může dosahovat několik stovek metrů až kilometrů [33, 34].

Pro účely této práce bylo potřeba zvolit vhodnou metodu, která bude dostatečně přesná, průkazná a prakticky proveditelná. Pro metody využívající barvivo nebo radioaktivní prvek je potřeba povolení správce toku a vodoprávního úřadu. Pro terénní měření byla proto zvolena konduktivita (elektrická vodivost) jako nejvhodnější; je dostatečně přesná, levná, snadno proveditelná a rychlá. Jedná se o fyzikální parametr, který měří koncentraci kladně a záporně nabitých iontů ve vodě, tj. iontově rozpuštěných látek. Vyjadřuje tedy nepřímě obsah minerálních látek ("solí"), které se ve vodě nacházejí. Každá vypouštěná odpadní voda obsahuje nejen organické látky (z nichž některé mohou být prioritní z hlediska vodní politiky), ale také rozličné anorganické látky rozpustné ve vodě. Protože se advekce na rozptylu znečištění v toku podílí daleko významněji než difúze, není mezi velikostí rozptylu organických látek oproti anorganickým látkám v tomto prostředí výrazný rozdíl.

Konduktivita je převrácenou hodnotou odporu v roztoku v  $\Omega$ , obsaženého mezi dvěma elektrodami o ploše  $1 \text{ m}^2$ , které jsou od sebe vzdáleny 1 m. Označuje se obvykle symbolem  $\kappa$  (kappa). Konduktivita je dostatečně citlivá metoda, protože i velmi čistá voda vykazuje vodivost (destilovaná voda  $0,05 \text{ mS.m}^{-1}$ ).

Přesnost měření je velmi vysoká, je schopná zaznamenat rozdíl  $1 \text{ }\mu\text{S.cm}^{-1}$ . Pro terénní měření je důležitý dostatečný rozdíl konduktivity odpadní vody a povrchové vody. Povrchové vody vykazují konduktivitu 5 až  $50 \text{ mS.m}^{-1}$ , některé průmyslové vody mohou

mít hodnota vyšší než  $10^3 \text{ mS.m}^{-1}$ . Vzhledem k tomu, že pro odlišení znečištěním zasažené oblasti toku a oblasti neovlivněné je zásadní zjištění rozdílu konduktivit, který se se vzrůstající vzdáleností od zdroje znečištění postupně snižuje (vyrovnávají se současně i případné rozdíly teplot odpadní a povrchové vody), není potřeba zohledňovat pro interpretaci výsledků měření teplotu, na které je konduktivita závislá.

Konduktivita je snadno měřitelná přenosným přístrojem – konduktometrem přímo v terénu. Problém připojení roztoku do elektrického měřicího obvodu zabezpečuje tzv. vodivostní měřicí sonda, která obsahuje elektrody z inertního materiálu. Pro měření byl používán terénní měřicí přístroj HQ40d multi s připojenou konduktometrickou sondou (Obr. 19). Tato sonda má robustní charakter a je tedy vhodná pro práci v terénních podmínkách.

Obr. 19 Terénní měřicí přístroj HQ40d multi s připojenou konduktometrickou sondou



Z legislativního hlediska se vymezení mísící zóny týká tzv. prioritních látek pro vodní prostředí. Proto bylo nutno ověřit, zda je možné stanovit rozsah mísící zóny jejich analytickým stanovením. Bylo vytipováno několik zdrojů znečištění, které prioritní látky do toku vypouštějí ve významnější koncentraci: byl vybrán zdroj vnosu polyaromatických uhlovodíků na řece Bečvě, chemický provoz vypouštějící nikl a zinek a metalurgický podnik rovněž vypouštějící zinek. V každém zvoleném příčném profilu toku pod místem vypouštění odpadních vod byly odebírány vždy dva vzorky povrchové vody: jeden při pravém břehu a jeden při levém břehu. Současně byla mísící zóna proměřována pomocí konduktivity.

Mísící zóna byla nejprve proměřena v úseku řeky Bečvy. Měření bylo prováděno v době minimálních průtoků ( $3,62 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ ). Odpadní voda o konduktivitě  $1\,497 \text{ }\mu\text{S.cm}^{-1}$

a koncentraci PAU 2 445 ng.l<sup>-1</sup> (suma 15 PAU) byla vypouštěna v době měření v množství cca 34 l.s<sup>-1</sup>. Výsledky jsou shrnuty v Tabulce 1.

Tabulka 1 Stanovení rozsahu mísící zóny podle konduktivity a podle koncentrace PAU

	$\Delta$ konduktivity [ $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ]	$\Delta \Sigma 15 \text{ PAU}$ [ng.l <sup>-1</sup> ]	$\Delta \text{BaP}$ [ng.l <sup>-1</sup> ]
Bečva 274 m pod zdrojem	35	125	3
Bečva 481 m pod zdrojem	21	263	25
Bečva 940 m pod zdrojem	6	185	7
Bečva 1260 m pod zdrojem	4	133	10
Bečva 2100 m pod zdrojem	2	40	6
Bečva 2460 m pod zdrojem	1	32	3
Vzdálenost konce mísící zóny od místa vypouštění [m]	podle konduktivity	podle $\Sigma \text{PAU}$	podle BaP
	1 860–2 460	2 460	2 460

V dalším případě byla mísící zóna proměřena v úseku Bohumínské Stružky pod zdrojem odpadních vod s vysokým obsahem niklu a zinku. Měření bylo prováděno v době minimálních průtoků (0,14 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>). Odpadní voda o konduktivitě 3 780  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ , koncentraci niklu 243,1  $\mu\text{g.l}^{-1}$  a zinku 3 380  $\mu\text{g.l}^{-1}$  byla vypouštěna v době měření v množství cca 6 l.s<sup>-1</sup>. Výsledky jsou shrnuty v Tabulce 2.

Tabulka 2 Stanovení rozsahu mísící zóny podle konduktivity a podle koncentrace niklu a zinku

	$\Delta$ konduktivity [ $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ]	$\Delta \text{Ni}$ [ $\mu\text{g.l}^{-1}$ ]	$\Delta \text{Zn}$ [ $\mu\text{g.l}^{-1}$ ]
Boh. Stružka 1 m pod zdrojem	360	43,4	829,2
Boh. Stružka 20 m pod zdrojem	190	50,5	381,5
Boh. Stružka 40 m pod zdrojem	160	126	281,8
Boh. Stružka 65 m pod zdrojem	20	3,8	2,4
Boh. Stružka 90 m pod zdrojem	0	1,6	17,1
Vzdálenost konce mísící zóny od místa vypouštění [m]	podle konduktivity	podle Ni	podle Zn
	90	65–90	65

V posledním případě byla mísicí zóna proměřena v úseku řeky Lučiny pod výpustí odpadních vod z hutního podniku. Měření bylo prováděno v době minimálních průtoků ( $1,84 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). Odpadní voda o konduktivitě  $1\,053 \text{ } \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  a zinku  $109,4 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$  byla vypouštěna v době měření v množství cca  $120 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ . Výsledky jsou shrnuty v Tabulce 3.

Tabulka 3 Stanovení rozsahu mísicí zóny podle konduktivity a podle koncentrace kadmia a zinku

	$\Delta$ konduktivity [ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ]	$\Delta$ Cd [ $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ ]	$\Delta$ Zn [ $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ ]
Lučina 15 m pod výpustí	116	0,07	10,2
Lučina 30 m pod výpustí	33	0,02	3,0
Lučina 60 m pod výpustí	5	0,01	0,9
Lučina 110 m pod výpustí	3	0,01	2,2
Vzdálenost konce mísicí zóny od místa vypouštění [m]	podle konduktivity	podle Cd	podle Zn
	110	60	60

#### Výběr metody – zhodnocení výsledků

Stanovení rozsahu mísicí zóny podle rozdílu koncentrací prioritních látek je v poměrně dobré shodě s výsledky podle rozdílu konduktivity, má však významná omezení. K těm náleží především:

1. Přesnost analytického stanovení, které v případě kovů dosahuje cca 20 % a v případě organických látek 35 až 50 %. Tato chyba je vyšší při analýze koncentrací látek blízkých mezi stanovitelnosti. Přesnost měření konduktivity je nesrovnatelně vyšší a dosahuje maximálně jednotek procent.
2. Pokud není s odběrem vzorků souběžně realizováno měření konduktivity, není známa konkrétní situace znečištění v reálném čase, nelze tedy odhadnout aktuální stav, protože výsledky měření koncentrací polutantů jsou k dispozici až za několik dní po provedení laboratorních analýz. Měrná vodivost (konduktivita) může být naproti toku měřena přímo v terénu s okamžitým odečtem výsledku na displeji přístroje.

3. Nepoměrně vyšší cena analytického stanovení nedovoluje větší zahuštění vzorkovacích míst v příčném i podélném profilu toku, což může být větším zdrojem chyb pro určení rozsahu mísící zóny nebo neúměrným vzrůstem nákladů.
4. Není možné odhadnout tvar vlečky znečištění, protože v každém příčném profilu jsou odebírány pouze dva vzorky (u levého a pravého břehu).

Měření konduktivity je tak nejvhodnější metodou měření, protože podává výsledky přímo v terénu v reálném čase s dostatečnou přesností a v kterémkoliv bodě měření. Nevýhodou zůstává možné strhávání měřicí sondy v prudkém proudu povrchové nebo odpadní vody, což však může být vyřešeno vhodnou fixací sondy. Vlivem závislosti konduktivity na teplotě je třeba se při měření v teplejším období roku a za slunečného počasí vyvarovat míst, kde nedochází k proudění vody a mělkým příbřežním partiím.

#### 4.1.3 Terénní měření

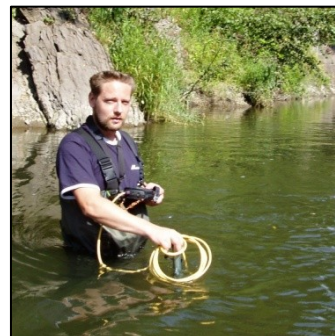
Měření konduktivity bylo realizováno v příčných profilech vybraných toků ve stanovených vzdálenostech od místa vypouštění odpadních vod na základě místních podmínek. Měření probíhala broděním nebo z nafukovací kánoe, v případě dolního Labe z pronajaté motorové lodi s lodivodem. V některých případech, kde nebylo možné brodění, bylo měření prováděno tak, že měřicí sonda byla upevněna na teleskopické tyči a měření probíhalo postupně z obou břehů.

Šířka řeky byla odhadnuta z internetových náhledů leteckého snímkování ([www.seznam.cz](http://www.seznam.cz)) při maximálním měřítku zobrazení a ověřována přímo v terénu u broditelných toků pásmem o délce 50 m. Aktuální poloha každého zdroje znečištění a příčného profilu toku byla zaměřena pomocí GPS s přesností na 1 až 5 metrů v závislosti na terénních podmínkách. Měření konduktivity v příčném profilu probíhalo v bodech vzdálených od sebe 1 až 5 m podle šířky toku; čím užší tok, tím menší vzdálenost mezi body. Údaje byly v terénu průběžně zaznamenávány do předem připravených tabulek. Současně byla prováděna fotodokumentace. Ve dnech měření byly ze serveru Českého hydrometeorologického ústavu ([www.chmi.cz](http://www.chmi.cz)) zaznamenány aktuální průtoky v profilech sledování blízkých oblastí měření. Pro místo měření byly zpřesněny zohledněním přítoků nebo převodů vody. Téměř všechna místa byla proměřena při více průtocích (zpravidla

dvou), nikoliv však v době vysokých průtoků, protože vliv bodových zdrojů na jakost vod se zřetelněji projevuje při nízkých průtokových stavech. Průtok odpadní vody ze zdroje byl proveden odhadem, odečtem z databáze vypouštění státní vodohospodářské bilance a následně zpřesněn při modelování mísící zóny programem CIT (viz další kapitoly).



Obr. 20 Lod' použitá pro měření na dolním Labi



Obr. 21 Měření broděním



Obr. 22 Lod' použitá pro měření na Odře



Obr. 23 Měření s tyčí na Opavě

Znamenávány byly i údaje o teplotě povrchové a odpadní vody v místě bezprostředně pod výpustí, údaje o morfologii dna kvůli odhadu Manningova součinitele drsnosti a informace o překážkách a objektech v toku. Zrnitostní analýza substrátu dna pro stanovení efektivní šířky zrna ( $d_{ef}$  resp.  $D_{50}$ ) nebyla prováděna. Manningův součinitel drsnosti byl odhadnut podle dostupných katalogů drsností a tabulek [35–37].

Personálně byly práce rozděleny tak, že jedna osoba prováděla měření přímo v toku. Druhá osoba rovněž v toku v blízkosti měřící osoby prováděla zápis hlášených hodnot konduktivity, odečítala souřadnice pro každý měřený příčný profil, výpust nebo objekt na toku, a prováděla fotodokumentaci. Pro rozsáhlejší měření byla přizvána třetí osoba (řidič, lodivod).

#### 4.1.4 Výsledky terénních měření

V této kapitole jsou jednotným způsobem zpracovány výsledky měření pro všechny proměřené lokality, proveden slovní popis toku, případně doplněn obrazovou fotodokumentací, uvedeny průtokové poměry v domě měření a zjištěný rozsah mísící zóny. Zajímavé výsledky jsou vizualizovány. Drsnost  $n$  byla odhadnuta Cowanovou metodou [36,40] se zohledněním vlivu průtoku (metoda je podrobněji popsána v kapitole 4.4).

Legenda k tabulkám „Výsledky měření“:

$Q_{\text{rec}}$  průtok v recipientu v době měření [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$Q_{\text{ov}}$  průtok odpadní vody [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$B$  průměrná šířka toku v měřeném úseku [m]

$h$  průměrná hloubka toku v měřeném úseku [m]

$n$  odhadnutý Manningův součinitel drsnosti [-]

$d_{\text{MZ}}$  zjištěný rozsah (délka) mísící zóny z výsledků měření [m]

Bylo ověřeno, že rozhraní mezi ovlivněnou a neovlivněnou částí toku je velice těsné a zřetelné. V některých případech bylo možno rozhraní mísení pozorovat i vizuálně změnou barvy nebo unášenou pěnou na hladině toku. Za konec mísící zóny byla brána oblast, kde rozdíl konduktivity v příčném profilu činil 1 až 5  $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ . Primárně naměřená data jsou souhrnně uvedena v Příloze C včetně situační mapy zájmového úseku toku.

#### Bečva pod výpustí podniku Deza, a.s. Valašské Meziříčí (p.č. 1)

*Situace:* Spojením Rožnovské Bečvy a Vsetínské Bečvy v intravilánu města Valašské Meziříčí vzniká řeka Bečva. Na dolním konci města se nachází průmyslový areál podniku Deza, a.s., který vypouští odpadní vody do řeky Bečvy v 58,05 ř. km (pravý břeh). Podhorský tok má bystřinný charakter s občasnými balvanitými skluzy (190 m pod výpustí na 57,86 ř. km a 410 m pod výpustí na 57,64 ř. km). Ve vzdálenosti 1 220 až 1 430 m pod výpustí byl uprostřed toku vytvořen ostrov v délce cca 110 m a šířce v průměru 10 m (na 56,83 až 56,62 ř. km). Dno je kamenité, tvořené valouny, v místech nad balvanitými

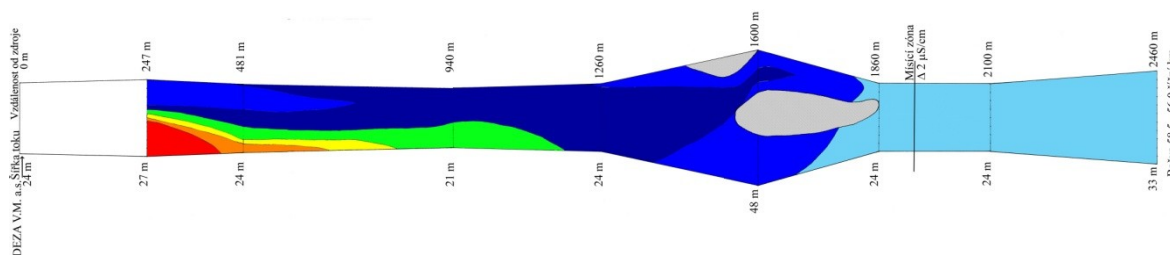


skluzy balvany o průměru až 80 cm, břehy porostlé vegetací. Proudění má turbulentní charakter.

*Výsledky měření:*

	$Q_{\text{rec}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$Q_{\text{ov}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$B [\text{m}]$	$h [\text{m}]$	$n [-]$	$d_{\text{MZ}} [\text{m}]$
1. měření	3,62	0,015	28,7	0,6	0,091	1 860 až 2 460
2. měření	2,71	0,032	29	0,55	0,110	690

Měření proběhla při nízkých průtocích odpovídajících 0,2 až 0,3  $Q_a$  resp. 1,6 až 2,1  $Q_{355}$ . V případě 1. měření je mísící zóna určená oblastí 56,83 až 56,62 ř. km, kde rozdíl konduktivity činil 2 až 1  $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ . Výsledek měření byl vizualizován (Obr. 24). Červená barva značí oblast s nejvyšší konduktivitou, světle modrá barva oblast s nejnižší konduktivitou.



Obr. 24 Vizualizace mísící zóny na řece Bečvě pod výpustí odpadních vod podniku Deza, a.s. V. Meziříčí, (1. měření)

V 2. měření byla mísící zóna zastižena na 57,36 ř. km, tj. ještě nad místem, kde tok obtéká ostrov. Rozdíl délky mísící zóny obou měření je značný. První měření bylo provedeno v roce 2007, druhé měření v roce 2009. Během té doby mohlo dojít k dílčím změnám morfologie koryta doprovázeným změnami proudění povrchové vody a změnou drsnosti koryta. Bezprostředně pod místem vypouštění jsou dva balvanité skluzy, které mohly mít na délku mísící zóny rozhodující vliv.

#### Bezejmenný potok – přítok Žižkova potoka (p.č. 2)

*Situace:* Bezejmenný potok je krátkým pravostranným přítokem Žižkova potoka, který se následně po 770 m vlévá do řeky Morávky v 10,275 ř. km v dolní části obce Raškovice.

Odpadní vody z podniku Saft-Ferak, a.s. Raškovice jsou vypouštěny diskontinuálně (z neutralizační stanice) do bezejmenného potoka v 0,36 ř. km od ústí do Žižkova potoka (pravý břeh). Potok má bystřinný charakter, jeho průtok byl stanoven odhadem. Dno má šterkový charakter se střední velikostí valounů 3–5 cm.

*Výsledky měření:*

	$Q_{\text{rec}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$Q_{\text{ov}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	B [m]	h [m]	$n [-]$	$d_{\text{MZ}} [\text{m}]$
1. měření	0,004	0,0032	1,05	0,06	0,072	28
2. měření	0,007	0,003	1,10	0,08	0,048	50

Vzhledem k malé šířce toku bylo mísící zóny dosaženo po několika desítkách metrů od výpusti v 0,332 ř. km, resp. 0,31 ř. km.

Bohumínská Stružka pod Lidickým příkopem (p.č. 3)

*Situace:* Lidický příkop je místní potok, který se táhne podél ulice Lidická v Bohumíně. Jsou do něj zaústěny odpadní vody z podniku Bochemie, a.s. Cca 450 m pod výpustí Lidický příkop ústí do Bohumínské Stružky v 4,78 ř. km (levostranný přítok). Vzhledem k tomu, že odpadní voda tvoří převážnou část odtoku Lidického příkopu, je tento brán jako zdroj bodového znečištění. V dolní části je koryto příkopu včetně břehových partií opevněno kamennými kvádry. Průtok v Lidickém příkopu byl odvozen od průměrného vypouštění odpadních vod z podniku Bochemie, a.s. Bohumínská Stružka je silně antropogenně ovlivněným tokem, dno je šterkové s častými proplásky jemného říčního sedimentu. V době měření probíhaly na březích terénní úpravy v souvislosti s úpravou místní komunikace.

*Výsledky měření:*

	$Q_{\text{rec}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$Q_{\text{ov}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	B [m]	h [m]	$n [-]$	$d_{\text{MZ}} [\text{m}]$
1. měření	0,072	0,006	3,2	0,32	0,052	90

Primární data měření konduktivity jsou uvedena v Příloze C. Vzhledem k malé šířce toku bylo mísící zóny dosaženo po několika desítkách metrů od zdroje znečištění v 4,69 ř. km.

#### Hutní potok a Bílina pod výpustí podniku United Energy, a.s., teplárna Komořany (p.č. 4)

*Situace:* Teplárna Komořany vypouští odpadní vody do Hutního potoka cca 525 m od jeho ústí do řeky Bíliny. Průtok v Hutním potoce byl odhadnut na  $0,050 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Vzhledem k tomu, že odpadní vody tvoří převážnou část odtoku Hutního potoka, byl tento brán jako samostatný zdroj znečištění. Hutní potok ústí do Bíliny v 57,24 ř. km (pravostranný přítok). Řeka Bílina je silně antropogenně ovlivněným tokem. Vzhledem k zákalu a hloubce nebylo možné ověřit substrát dna, nicméně z měření hloubky je zřejmé bahnitě dno s množstvím usazeného jemného sedimentu. V rovných úsecích toku převládá laminární proudění. V oblasti mísící zóny nejsou na toku Bíliny žádné objekty. Břehy obou toků jsou značně zarostlé vegetací s občasnými keři a stromy v patě břehů. Koryto Bíliny v měřeném úseku je pravidelné.

#### *Výsledky měření:*

	$Q_{\text{rec}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$Q_{\text{ov}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	B [m]	h [m]	$n [-]$	$d_{\text{MZ}} [\text{m}]$
Hutní p.	0,05	0,040	3	0,2	0,034	5
Bílina	3,50	0,050	10	1,0	0,024	750

Vzhledem k malé šířce Hutního potoka a množství vypouštěných odpadních vod bylo mísící zóny v Hutním potoce dosaženo bezprostředně pod výpustí. Na řece Bílině bylo mísící zóny dosaženo v 56,49 ř. km 750 m pod ústím Hutního potoka.

#### Labe pod výpustí ČOV Hradec Králové (p.č. 5)

*Situace:* Komunální čistírna odpadních vod krajského města Hradec Králové vypouští odpadní vody do řeky Labe v 988,78 ř. km v blízkosti obce Třebeš (levý břeh), (říční kilometry jsou nově počítány od ústí Labe do Severního moře, starší národní databáze počítá ř. km od státní hranice s Německem). Kolem 1 830 m pod výpustí ČOV se na řece Labi nachází jez a vodní elektrárna. Substrát dna



Obr. 25 Vypouštění odpadních vod z ČOV Hradec Králové do Labe

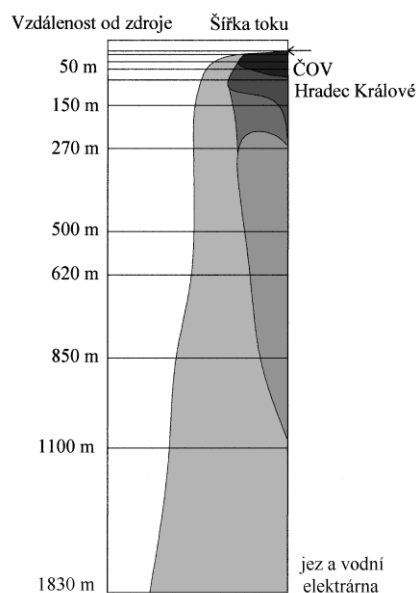
nebyl zjišťován vzhledem k hloubce toku, která dosahuje kolem 3 m vlivem vzdutí.

#### Výsledky měření:

	$Q_{\text{rec}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$Q_{\text{ov}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$B [\text{m}]$	$h [\text{m}]$	$n [-]$	$d_{\text{MZ}} [\text{m}]$
1. měření	36,67	0,466	54,2	3,3	0,029	nad 1 850
2. měření	33,82	0,350	54,2	3,2	0,029	nad 1 000

Řeka Labe reprezentuje větší tok, kde může být mísení ovlivněno i třetím rozměrem, tj. hloubkou. Pod ČOV Hradec Králové proběhla dvě měření v dubnu a v červenci 2007, obě za nižších průtoků. V celém příčném profilu nad místem vypouštění byla konduktivita konstantní  $258\text{--}260 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ . Odpadní voda byla o  $2,5 \text{ }^\circ\text{C}$  teplejší než voda říční. Vlečka odpadní vody se držela při levém břehu a po 100 metrech od místa vypouštění dosahovala asi do  $\frac{1}{3}$  šířky toku.

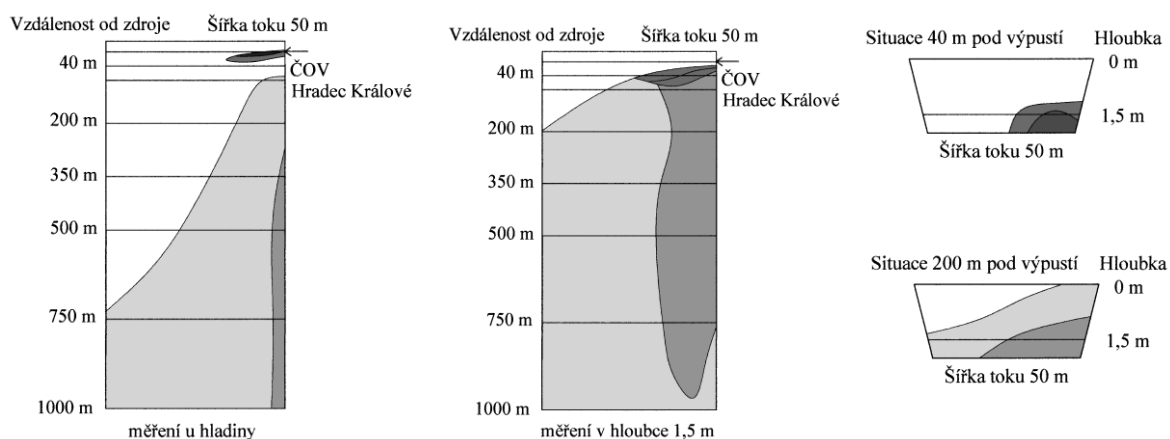
Průběh mísení je dobře patrný na Obr. 26 (pro lepší zobrazení je poměr šířky a délky toku upraven). V počáteční fázi na úseku cca 50 m toku je mísení povrchové a odpadní vody velmi intenzivní, dochází k rychlému poklesu rozdílu konduktivity. Poté nastupuje klidnější fáze mísení cca do 500 m od místa vypouštění. V poslední fázi mísení se konduktivita vyrovnává jen pozvolna. Ve vzdálenosti 1 830 m od výpusti je na toku Labe jez, kde všechna voda protéká přes turbínu. Tím došlo k důkladnému promísení a pod jezem již byla konduktivita konstantní v celém příčném profilu. V celém měřeném úseku toku Labe nebyl při prvním měření zjištěn rozdíl konduktivity v různých hloubkách.



Obr. 26 Průběh mísení pod ČOV Hradec Králové v dubnu 2007 (podélný řez)

Poněkud jiná situace nastala při měření téhož úseku v červenci 2007. Vodivost odpadní vody se pohybovala kolem hodnoty  $1\,095 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ . Konduktivita povrchové vody nad místem vypouštění v neovlivněné části řeky činila  $342 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ . Teplota odpadní vody však byla o  $1,7^\circ\text{C}$  nižší. Proud odpadní vody se proto zanořil směrem ke dnu při levém břehu. I ve vzdálenosti 40 m pod výustí byla konduktivita v celém příčném profilu při hladině

shodná jako v neovlivněném úseku toku nad výpustí. Při levém břehu však konduktivita významně vzrostla v hloubce 1,5 metru. V dalším úseku se potom voda s vyšší konduktivitou promíchávala do vrstev blíže k hladině a také směrem k pravému břehu. Na rozdíl od předchozího měření byla již 500 m pod výpustí ovlivněna i voda u pravého břehu. Výsledky jsou vizualizovány na následujících obrázcích.



Obr. 27 Průběh mísení pod ČOV Hradec Králové v červenci 2007 (podélné a příčné řezy)

### Labe pod výpustí ČOV Pardubice (p.č. 6)

*Situace:* Odpadní vody z komunální ČOV Pardubice (která čistí rovněž průmyslové



Obr. 28 Mísení odpadní vody ČOV Pardubice v řece Labi (Zdroj: [www.seznam.cz](http://www.seznam.cz))

odpadní vody z podniku Synthesia, a.s.) jsou vypouštěny do Velké strouhy cca 100 m nad jejím zaústěním do Labe v 959,5 ř. km. Vzhledem k objemu vypouštěných odpadních vod a blízkému ústí je Velká strouha brána jako bodový zdroj znečištění. Odpadní vody jsou vlivem vysokého podílu průmyslových odpadních vod zabarveny dohněda, proto je dobře patrná počáteční

oblast mísení s povrchovou vodou i na snímcích z leteckého snímkování ČR (Obr. 28). Proudění povrchové vody je charakteristické pro nížinný tok. V oblasti mísící zóny se nevyskytují další zdroje znečištění ani významné přítoky a stavby na toku.

*Výsledky měření:*

	$Q_{\text{rec}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$Q_{\text{ov}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	B [m]	h [m]	$n [-]$	$d_{\text{MZ}} [\text{m}]$
1. měření	30,23	0,595	49,4	min. 1,8	0,034	2 500
2. měření	32,92	0,400	49,5	1,9	0,034	1 750

Byla provedena dvě měření, jedno v květnu a druhé v červenci 2007 v bezdeštném období za nízkých průtoků. Hloubka toku se předpokládá min 1,8 m vzhledem k tomu, že tok je splavný a tento úsek se nachází mezi plavebními komorami Přelouč a Pardubice. Mísící zóny bylo dosaženo v 959,0 ř. km resp. 957,75 ř. km Labe.

Labe pod výpustí ČOV Neštětice (p.č. 7)

*Situace:* Dolní tok Labe po soutoku s Vltavou je největším vodním tokem v ČR. Komunální čistírna odpadních vod ČOV Neštětice (výpust na 759,83 ř. km) čistí odpadní vody z města Ústí nad Labem včetně průmyslových odpadních vod podniku Spolek pro chemickou a hutní výrobu, a.s. V Ústí nad Labem se do Labe vlévá řeka Bílina, která patří k nejvíce znečištěným vodním tokům v ČR (Pozn. Průtok v Bílině ústí činil cca 2,5 % průtoku Labe-Ústí n.L.). Z výsledků uvedených v Příloze C vyplývá, že i po 5,4 km od ústí Bíliny do Labe nejsou vody obou řek nad výpustí z ČOV Neštětice dostatečně promíchány. Proto následná mísící zóna pod posuzovaným zdrojem v sobě spojuje vliv obou „zdrojů znečištění“.

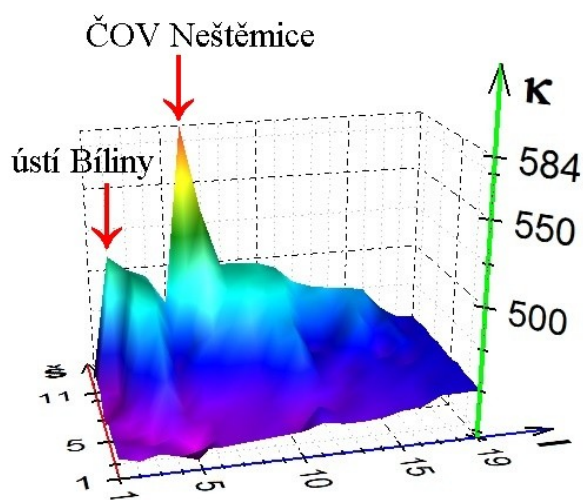
V oblasti mísící zóny se nachází několik dalších výpustí z průmyslu (např. Měď Povrly, a.s.,  $Q_{\text{ov}} = 5,8 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$  na stejném břehu, Setuza Ústí nad Labem,  $Q_{\text{ov}} = 18,5 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$  na protějším břehu) a komunální zdroje (zvl. ČOV Děčín,  $Q_{\text{ov}} = 152 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$  na protějším břehu), které však ve srovnání s průtokem v Labi představovaly málo významné zdroje a na rozsah mísící zóny neměly v době měření zásadní vliv. Pro měření konduktivity v toku byla podnikem Povodí Labe, s.p., závod Děčín zapůjčena loď s motorem a s lodivodem.

*Výsledky měření:*

	$Q_{\text{rec}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$Q_{\text{ov}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	B [m]	h [m]	$n [-]$	$d_{\text{MZ}} [\text{km}]$
1. měření	91,4	0,348	105,5	1,42	0,049	20,25
2. měření	208,9	0,320	110	2,11	0,038	16,14

V době prvního měření byl průtok v Labi pod úrovní  $Q_{355}$  denního průtoku, což bylo příčinou nízké plavební hloubky a zastavení lodní dopravy. Také průměrná rychlost proudění vody byla o  $\frac{1}{3}$  nižší, než při druhém měření. O to více se mohly projevit vlivy vypouštění na rozsah mísící zóny. V případě obou měření nebyly povrchové vody řek Bíliny a Labe v úseku nad vypouštěním odpadních vod z ČOV Neštětice dostatečně promíchány (rozdíl konduktivity 37 resp. 55  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ). Je proto pravděpodobné, že by mísící zóna pouze vlivem vypouštění z ČOV Neštětice byla výrazně kratší. V případě druhého měření byl průtok v Labi obvyklý s provozováním vodní dopravy. Ta může mít na mísení kladný účinek, protože podporuje advektivní složku mísení. Mísící zóna tímto byla kratší přesto, že vypočtená průměrná rychlost proudění v Labi pro byla znatelně vyšší (cca 0,9  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

V případě 2. měření byla provedena 3D vizualizace naměřených dat pomocí volně přístupného programu Chart3D v7.5 [38]. Barvy vyjadřující velikost koncentrace se mění podél Y-souřadnice. X-souřadnice zobrazuje vzdálenost od místa vtoku znečištění do vod.



Obr. 29 3D vizualizace mísící zóny na Labi (2. měření).  
Legenda:  $\kappa$  – konduktivita v  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ;  $\bar{s}$  – počet měřících bodů v příčném profilu;  $l$  – počet měřených profilů v podélném směru toku

#### Lučina pod výpustí podniku ArcelorMittal, a.s. Ostrava (p.č. 8)

*Situace:* Řeka Lučina je drobným vodním tokem s bystrinným charakterem. Substrát dna je kamenitý s oblázky a menšími kameny o střední velikosti 5–20 cm. V místě vypouštění odpadních vod z hutního podniku ArcelorMittal, a.s. Ostrava (5,85 ř. km) se vlivem vysokého proudu odpadní vody tvoří v místě vypouštění zátoka, která tok rozšiřuje a prohlubuje, aby se následně po několika desítkách metrů tok zúžil na původní velikost. To je dobře patrné i na leteckých snímcích (Obr. 30). Vlivem vysoké dynamiky vody za



velkých průtoků se charakter substrátu dna a jeho morfologie často mění. Průtok v době 1. měření činil dvojnásobek průměrného ročního průtoku ( $1,96 Q_a$ ), ostatní měření byla prováděna za průměrných průtokových stavů.

*Výsledky měření:*

	$Q_{rec} [m^3 \cdot s^{-1}]$	$Q_{ov} [m^3 \cdot s^{-1}]$	$B [m]$	$h [m]$	$n [-]$	$d_{MZ} [m]$
1. měření	4,82	0,19	9,0	0,80	0,047	160
2. měření	2,17	0,41	8,2	0,55	0,072	180
3. měření	1,84	0,28	9,0	0,51	0,063	110



Vypouštění odpadní vody do Lučiny je významné, objemově činí cca 3 až 6 % průtoku v recipientu. Rychlost vypouštění odpadní vody je vysoká, tímto její proud zasahuje hluboko do proudnice říční vody až k protilehlému břehu (především za nízkých průtoků při 2. a 3. měření) bezprostředně pod místem vypouštění. To je hlavní příčinou toho, že k úplnému promísení obou typů vod dochází záhy, rozsah mísící zóny je malý. K tomu přispívá také členitý tvar koryta a významná drsnost dna, podporující advektivní proudění.

Obr. 30 Lučina v místech vypouštění odpadních vod z podniku ArcelorMittal, a.s. (Zdroj: [www.seznam.cz](http://www.seznam.cz))

#### Morávka pod ústím Žižkova potoka (p.č. 9)

*Situace:* Řeka Morávka pramení v CHKO Beskydy pod Bílým Křížem. V intravilánu Raškovic je podhorským tokem s bystrinným charakterem proudění a kamenitým až balvanitým dnem. Žižkův potok odvádějící odpadní vody z podniku Saft-Ferak, a.s. (prostřednictvím bezejmenného přítoku, viz p.č. 2), se do Morávky vlévá v 10,3 ř. km. Měření bylo prováděno při nízkých průtocích  $0,1$  a  $0,2 Q_a$ , resp.  $1,7$  a  $2,8 Q_{355}$ .



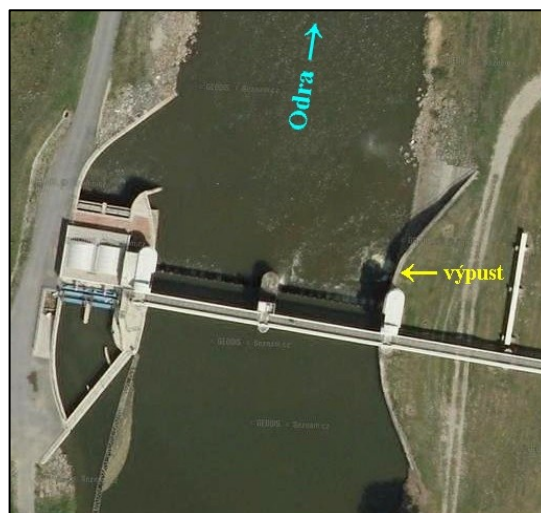
*Výsledky měření:*

	$Q_{\text{rec}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$Q_{\text{ov}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$B [\text{m}]$	$h [\text{m}]$	$n [-]$	$d_{\text{MZ}} [\text{m}]$
1. měření	0,52	0,012	9,3	0,15	0,110	250
2. měření	0,86	0,023	10	0,2	0,091	400

Žižkův potok má 4 až 5násobně vyšší konduktivitu, proto je možné jej ve smyslu stanovení mísící zóny považovat za bodový zdroj znečištění. Vlivem vysoké drsnosti dna dochází k úplnému promísení vzhledem k šířce toku poměrně záhy. To bylo podpořeno zúžením toku cca 160 m a balvanitým skluzem 380 m pod ústím Žižkova potoka do Morávky. Při prvním měření byl nižší stav vody, tím se mohla více projevit drsnost koryta, což napomohlo kratší mísící zóně než při druhém měření.

Odra pod výpustí podniku BorsodChem MCHZ, s.r.o. Ostrava (p.č. 10)

*Situace:* Prověřovaný úsek toku Odry se nachází mezi dvěma vzdutími – Lhoteckým jezem a Petřkovickým jezem, které jsou od sebe vzdáleny 3,105 km. Vypouštění odpadních vod z chemického provozu tzv. hlavním odpadem (dříve Moravských chemických závodů) v množství kolem  $90 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$  je lokalizováno těsně pod Lhoteckým jezem (v patě jeho opevnění) v 18,98 ř. km. Na opačné



Obr. 31 Odra v místech vypouštění odpadních vod z podniku BorsodChem MCHZ, s.r.o. (Zdroj: [www.seznam.cz](http://www.seznam.cz))

straně jezu se nachází malá hydroelektrárna. Asi 635 m pod výpustí se na stejné straně řeky nachází výpust slaných důlních vod z bývalého

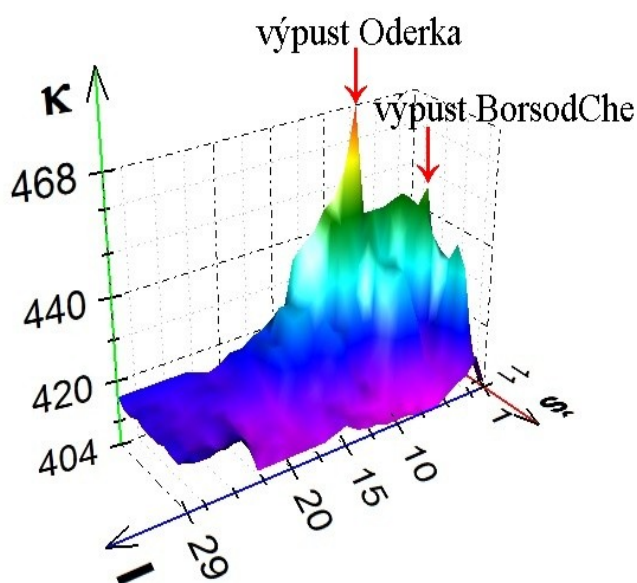
černouhelného dolu Oderka (provoz ukončen v r. 1968), která však rozsah mísící zóny neovlivní z důvodu velmi malého objemu vypouštění (cca  $0,1 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Hloubka v toku není konstantní, ale v poslední třetině úseku mezi oběma jezy vlivem vzdutí postupně narůstá. Charakter toku Odry je nížinný (Obr. 15). V počáteční části mísící zóny ověřeno šterkové dno, v klidových oblastech toku je usazen jemný sediment.

První měření bylo realizováno ze břehu a částečně broděním v příbřežní oblasti, druhé měření bylo prováděno z lodi (Obr. 22), tj. v celém příčném profilu toku. Obě měření byla prováděna při nižších průtocích: 0,5 a 0,3  $Q_a$ , resp. 4,6 a 2,8  $Q_{355}$ .

*Výsledky měření:*

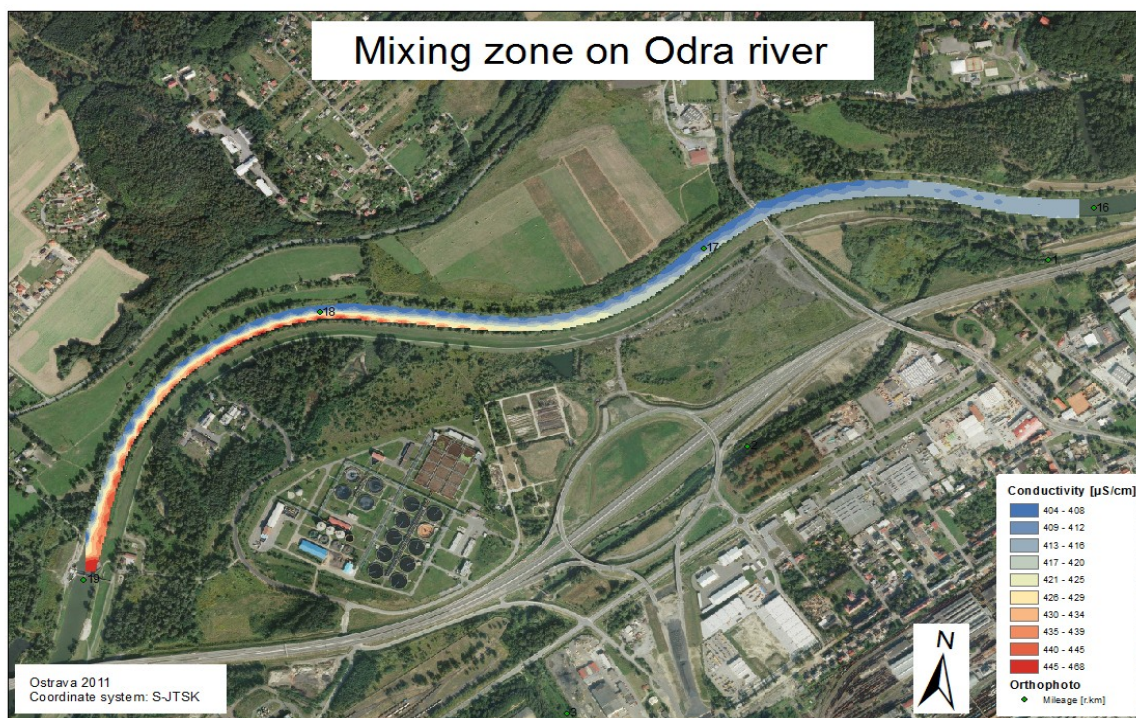
	$Q_{rec} [m^3 \cdot s^{-1}]$	$Q_{ov} [m^3 \cdot s^{-1}]$	$B [m]$	$h [m]$	$n [-]$	$d_{MZ} [m]$
1. měření	16,50	0,092	41,3	1,48	0,029	3 100
2. měření	10,13	0,070	41,0	1,30	0,029	2 820

Obě měření byla realizována za obdobných hydrologických poměrů. Přestože konduktivita odpadních vod byla v případě 1. měření poloviční oproti 2. měření, zjištěný rozsah mísící zóny obou měření je téměř shodný, v druhém měření mírně menší díky nižší rychlosti proudění. To odpovídá publikovaným poznatkům, že rozhodující jsou pro rozsah mísící zóny hydrodynamické poměry a teprve následně koncentrace polutantu. Výsledky druhého měření jsou vizualizovány (Obr. 32).



Obr. 32 3D vizualizace mísící zóny na Odře (2. měření). Legenda:  $\kappa$  – konduktivita v  $\mu S \cdot cm^{-1}$ ;  $\bar{s}$  – počet měřicích bodů v příčném profilu;  $\bar{l}$  – počet měřených profilů v podélném směru toku

Kromě 3D zobrazení byla použita rovněž sofistikovanější technika zobrazení mísící zóny pomocí programu Esri ArcGIS Environment pro 2D. Tento nástroj byl vybrán na základě rešerše zahraniční literatury [31]. Vlastní zpracování provedl Kořátko, A. [39].



Obr. 33 2D zobrazení mísící zóny na Odře pod výpustí odpadních vod z podniku BorsodChem MCHZ, s.r.o. Ostrava pomocí techniky Esri ArcGIS Environment

#### Olše pod výpustmi podniku Energetika Třinec, a.s. (p.č. 11)

*Situace:* Podnik Energetika Třinec, a.s. komplexně zajišťuje potřebné energie pro Třinecké železářny, a.s. Součástí služeb je i nakládání s vodami. Odpadní vody z KČOV1 jsou vypouštěny do řeky Olše, která protéká areálem hutního podniku, v 45,3 ř. km. Charakter toku je bystřinný, s oblázkovým dnem a šterkovými až písčitými zátočinami, typickým pro podhorskou oblast (CHKO



Obr. 34 Olše cca 250 m pod výpustí KČOV1 Energetiky Třinec, a.s. (1. měření)

Beskydy). Šířka toku není konstantní. Již 100 m pod výpustí začíná táhlý levotočivý oblouk koryta, z pravé strany opevněný betonovou zdí, u níž se při nízkých průtocích vlivem eroze soustředí většina odtoku (Obr. 34). Za tímto obloukem se u protilehlého

břehu deponuje erodovaný materiál dna. Po cca 400 m od výpusti následuje stočení řeky do opačného směru, proudnice se přesouvá k levému břehu. Hloubka toku je tedy značně variabilní. Měření probíhalo při průtocích blízkých  $0,5Q_a$ .

*Výsledky měření:*

KČOV1	$Q_{rec} [m^3 \cdot s^{-1}]$	$Q_{ov} [m^3 \cdot s^{-1}]$	B [m]	h [m]	$n [-]$	$d_{MZ} [m]$
1. měření	3,04	0,107	20	0,38	0,099	480
2. měření	2,48	0,233	19,7	0,35	0,103	410

Vlivem vysoké drsnosti dna a meandrování toku dochází k úplnému promísení poměrně záhy. To bylo podpořeno i významným zúžením toku cca 150 m pod výpustí vynuceným směřováním toku při pravém břehu v táhlém levotočivém zakřivení toku. Rozdíly v délce mísící zóny obou měření jsou malé.

Odpadní vody z KČOV2 jsou vypouštěny do řeky Olše z levého břehu v 43,1 ř. km, která v tomto úseku také protéká areálem hutního podniku. Koryto toku je zde již napříměné s konstantní hloubkou. Substrát dna zůstává kamenitý. Břehové linie jsou neopevněné, nepravidelné s občasnými betonovými kvádry (zbytky panelů), částečně vnořenými do toku.

*Výsledky měření:*

KČOV2	$Q_{rec} [m^3 \cdot s^{-1}]$	$Q_{ov} [m^3 \cdot s^{-1}]$	B [m]	h [m]	$n [-]$	$d_{MZ} [m]$
1. měření	3,12	0,009	26	0,4	0,080	700
2. měření	2,54	0,015	25	0,35	0,084	280

Touto výpustí je vypouštěno výrazně menší množství odpadní vody. Charakter toku sice zůstává obdobný, ale koryto je v tomto úseku širší a bez výraznějších zakřivení. Tomu odpovídá i delší mísící zóna v případě 1. měření. Je otázkou, proč za obdobných hydrologických podmínek jsou rozdíly rozsahu mísící zóny 2. měření vysoké. Jednou z možných příčin může být vliv Neboranky, která se vlévá do Olše pouhých 180 m nad ověřovanou výpustí (levobřežní přítok) a také četné menší vývody kanalizace z pravého břehu v tomto úseku toku.



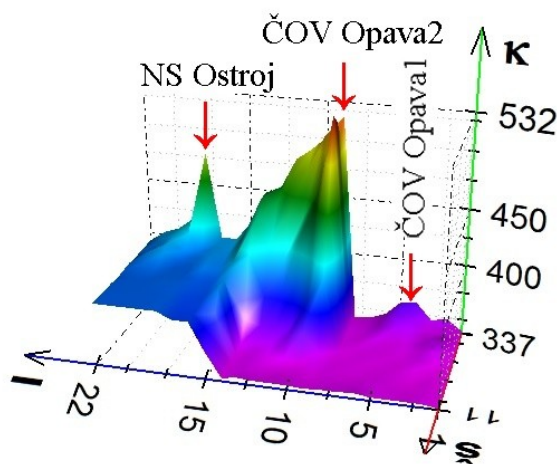
Opava pod výpustí ČOV Opava a podniku Ostroj, a.s. (p.č. 12)

*Situace:* Řeka Opava má přírodě blízký ráz s mírnými meandry a nízkými příčnými stupni v intravilánu stejnojmenného města. Tok má částečně bystřinný a částečně nížinný charakter proudění. Dno je převážně kamenité, vlivem větší hloubky však drsnost dna nemá na mísení natolik dominantní vliv. Odpadní vody z komunální ČOV Opava (projektovaná kapacita nad 100 tis. EO) jsou vypouštěny v 35,1 ř. km a odpadní vody z neutralizační stanice podniku Ostroj a.s. (diskontinuálně) cca 615 m po proudu v množství  $1 \text{ l.s}^{-1}$  (v době měření). V době prvního měření byl průtok v recipientu mírně zvýšený nad dlouhodobý průměr ( $1,2 Q_a$ ), v době druhého měření byl blízký průtoku charakteristickému pro sucho ( $1,6 Q_{355}$ ).

*Výsledky měření:*

	$Q_{\text{rec}} [\text{m}^3.\text{s}^{-1}]$	$Q_{\text{ov}} [\text{m}^3.\text{s}^{-1}]$	B [m]	h [m]	$n [-]$	$d_{\text{MZ}} [\text{m}]$
1. měření	9,34	0,240	14,2	1,4	0,028	1 150
2. měření	1,86	0,200	13,7	0,8	0,050	820

Při prvním měření bylo mísící zóny dosaženo cca 70 m nad ústím Moravice do řeky Opavy po 1 150 metrech, při druhém měření vlivem výrazně nižšího průtoku a vzrůstu drsnosti koryta byla zóna o 330 m kratší. Výsledky 2. měření jsou vizualizovány na Obr. 35. Oproti 1. měření byly 200 m nad hlavní výpustí ČOV Opava vypouštěny odpadní vody v daleko menším objemu z obtoku ČOV patrně vypouštěním podzemních vod, které však neměly na průběh mísící zóny hlavní výpustí komunální ČOV Opava vliv. Zasolené odpadní vody z neutralizační stanice Ostroj Opava, a.s. ( $\kappa = 4250 \mu\text{S.cm}^{-1}$ ) vykazovaly lokální vliv při pravém břehu, nicméně pravděpodobně délku mísící zóny ČOV Opava o několik desítek



metrů prodloužily. Po úplném promísení odpadních vod s vodou povrchovou konduktivita v toku na konci mísící zóny výrazně stoupla o cca  $55 \mu\text{S.cm}^{-1}$ .

Obr. 35 3D vizualizace mísící zóny na Opavě (2. měření). Legenda:  $\kappa$  – konduktivita v  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ;  $\bar{s}$  – počet měřících bodů v příčném profilu;  $l$  – počet měřených profilů v podélném směru toku

Opusta pod výpustí podniku MSA, a.s. Dolní Benešov (p.č. 13)

*Situace:* Opusta je levostranným drobným přítokem řeky Opavy. Odpadní vody z podniku Moravskoslezská armaturka, a.s. jsou vypouštěny v ř. km 2,0. Tok je v těchto místech přirozený s bahnitým dnem a příbřežní vegetací blízkou lužním lesům (Obr. 17).

*Výsledky měření:*

	$Q_{\text{rec}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$Q_{\text{ov}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$B [\text{m}]$	$h [\text{m}]$	$n [-]$	$d_{\text{MZ}} [\text{m}]$
1. měření	0,012	0,0041	1,5	0,09	0,053	40
2. měření	0,021	0,0047	1,5	0,11	0,048	30

Vzhledem k malé šířce toku dochází k úplnému promísení odpadní a povrchové vody rychle na úseku několika desítek metrů.

Oslava pod výpustí podniku Endis, a.s. Velké Meziříčí (p.č. 14)

*Situace:* Zájmová oblast Oslavy se nachází několik kilometrů pod vodní nádrží Mostišť na horním okraji města Velké Meziříčí. Charakter toku je bystrinný s kamenitým dnem (Obr. 16). Bylo provedeno pouze jedno měření při průtoku odpovídajícím  $0,4 Q_a$ .

*Výsledky měření:*

	$Q_{\text{rec}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$Q_{\text{ov}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$B [\text{m}]$	$h [\text{m}]$	$n [-]$	$d_{\text{MZ}} [\text{m}]$
1. měření	0,54	0,0004	11,2	0,19	0,104	50

Objem vypouštěných odpadních vod byl velice malý. Konduktivita odpadní vody byla jen málo vyšší, než povrchové vody (o  $30 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ). Z výsledků měření uvedených v Příloze C také vyplývá, že konduktivita nad místem vypouštění nebyla v celém příčném profilu konstantní. Výsledek rozsahu mísící zóny není vzhledem k malému objemu, malé míře znečištění odpadní vody a nehomogenní konduktivitě nad posuzovaným zdrojem reprezentativní.

Ostravice pod výpustmi ČOV Frýdek-Místek a ArcelorMittal Frýdek-Místek, a.s. (p.č. 15)

*Situace:* Ostravice je významným pravostranným přítokem řeky Odry. V 20,5 ř. km jsou z levého břehu vypouštěny odpadní vody z komunální ČOV Frýdek-Místek (projektovaná kapacita nad 100 tis. EO). Asi 400 m po proudu jsou z protilehlého pravého břehu vypouštěny odpadní vody z podniku ArcelorMittal Frýdek-Místek, a.s. (dříve Válcovny plechu, a.s.). Ostravice má v tomto úseku stále bystrinný charakter proudění a kamenité dno s četnými balvany v proudnici. V 18,7 ř. km se nachází jez, nad kterým se tok významně rozšiřuje, avšak bezprostředně pod jezem dochází k výraznému zúžení toku.



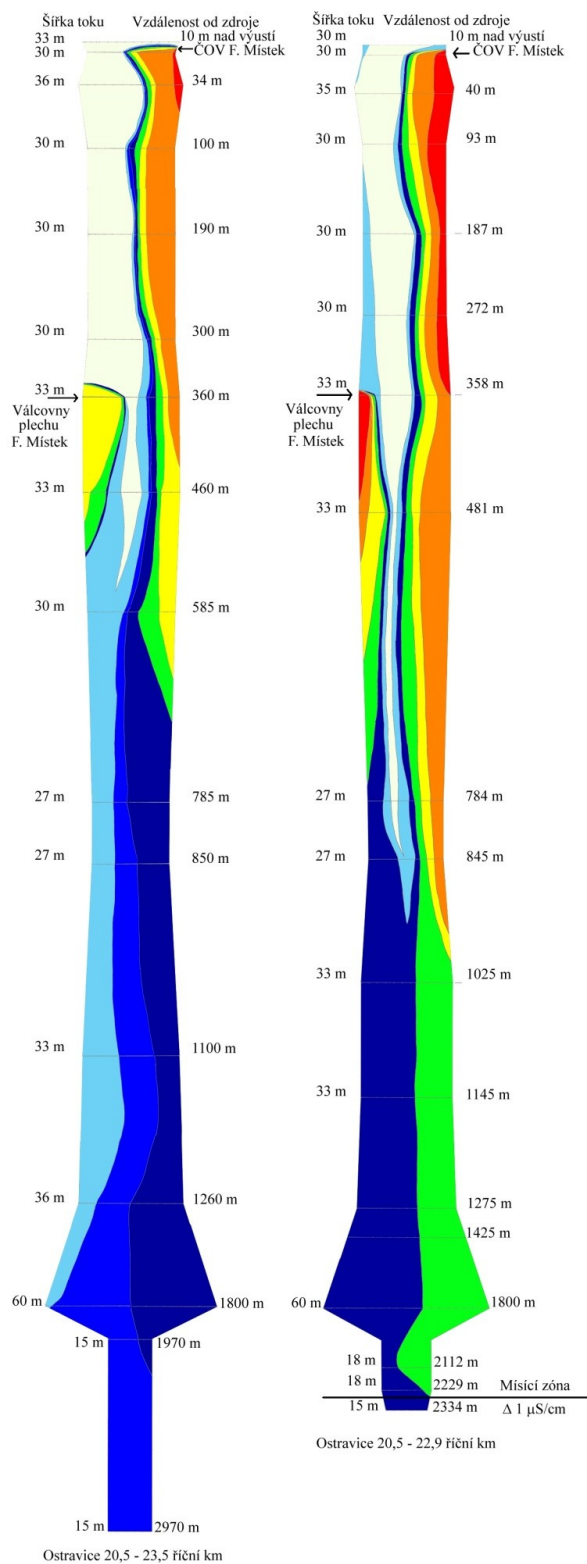
Celkem byla provedena tři terénní měření, dvě při nízkých průtocích (2,6–3,3  $Q_{355}$ ) a jedno při relativně vysokém průtoku, 1,5x vyšším, než je dlouhodobý průměrný průtok (při 1,45  $Q_a$ ).

Obr. 36 Ostravice cca 200 m pod výpustí ČOV Frýdek-Místek

*Výsledky měření:*

ČOV FM	$Q_{rec} [m^3 \cdot s^{-1}]$	$Q_{ov}^* [m^3 \cdot s^{-1}]$	B [m]	h [m]	$n [-]$	$d_{MZ} [m]$
1. měření	4,50	0,400/0,075	31,5	0,68	0,078	2 970
2. měření	9,94	0,550/0,076	31,7	0,95	0,063	2 334
3. měření	3,48	0,167/0,100	31,0	0,59	0,085	1 800

\* první údaj náleží komunální ČOV FM, druhý údaj náleží objemu vypouštění z podniku ArcelorMittal FM



Vzhledem k šířce toku dosahuje mísící zóna několika kilometrů. Výsledky jsou vizualizovány na Obr. 37. Jsou zde patrné dvě mísící zóny, které se následně spojují. Vzhledem k tomu, že odpadní vody z podniku ArcelorMittal FM, a.s. jsou vypouštěny z protějšího břehu, a zvyšují tedy konduktivitu protilehlé oblasti k mísící zóně z ČOV FM, napomáhá tato situace spíše ke zkrácení rozsahu mísící zóny pod ČOV FM. Zkrácení rozsahu mísící zóny při druhém měření může být dáno také vyšším stupněm naředění odpadních vod. Třetí měření bylo provedeno dva roky po prvních dvou měřeních. Změny drsnosti dna a nízký průtok jsou pravděpodobně hlavní příčinou toho, že tato mísící zóna byla nejkratší.

Mísící zóna z vypouštění ArcelorMittal FM je překryta vlečkou znečištění z ČOV FM a nelze tedy její rozsah určit.

Obr. 37 2D vizualizace mísící zóny na Ostravici pod výpustmi komunální ČOV Frýdek-Místek a podniku ArcelorMittal Frýdek-Místek, a.s. (1. a 2. měření).



Ostravice pod výpustí odpadních vod z podniku Biocel Paskov, a.s. (p.č. 16)

*Situace:* Níže po toku Ostravice v 8,7 ř. km byly v minulosti vypouštěny odpadní vody z celulózky Biocel Paskov, a.s. o vysoké konduktivitě a množství nad  $0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Ostravice je v těchto místech širokým a mělkým tokem s četnými ostrůvky s kameny a travnatou vegetací. 580 m pod výpustí jsou z protilehlého břehu vypouštěny slané důlní vody z Vodní jámy Jeremenko, rovněž ve významném množství. Průtok v Ostravici se v době měření blížil hranici sucha (dosahoval  $1,7 Q_{355}$ ). Vlečka odpadní vody z podniku Biocel Paskov, a.s. byla díky svému charakteristickému zabarvení a pěnivosti dobře patrná i vizuálně. Vzhledem k ukončení vypouštění odpadních vod z tohoto zdroje v tomto místě bylo provedeno jen jedno měření.



Obr. 38 Vypouštění odpadních vod z Biocelu Paskov, a.s. do Ostravice (nyní již zrušeno a přeloženo do řeky Odry)

*Výsledky měření:*

	$Q_{\text{rec}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$Q_{\text{ov}}^* [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	B [m]	h [m]	$n [-]$	$d_{\text{MZ}} [\text{m}]$
1. měření	2,97	0,308	43,3	0,4	0,095	> 580

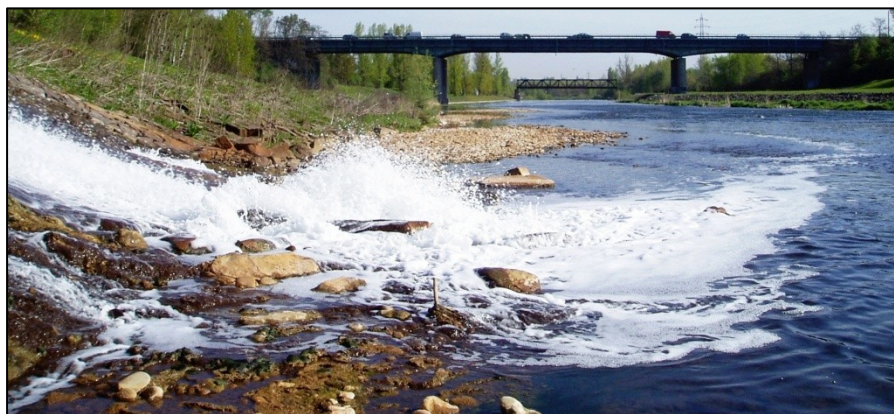
Rozsah mísící zóny nebylo možno určit vzhledem k vypouštění důlních vod z Vodní jámy Jeremenko, jejichž výrazná salinita  $15\,000 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  a vysoký objem vypouštěných vod (nad  $0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) "překryly" mísící zónu odpadních vod z podniku Biocel. V oblasti nezasaženém vypouštěním odpadních vod cca 400 m pod výpustí byl v litorálu protilehlého břehu spatřen rak (pravděpodobně rak kamenáč nebo rak signální).



Obr. 39 Rak říční v litorálu protilehlého břehu Ostravice cca 400 m pod výpustí odpadních vod z Biocelu Paskov, a.s.

Ostravice pod výpustí důlních vod z Vodní jámy Jeremenko (p.č. 17)

*Situace:* Důlní vody z bývalého dolu Jeremenko jsou vypouštěny intervalově z levého břehu do Ostravice v 8,1 ř. km za účelem zachování konstantní úrovně hladiny důlních vod. Díky jejich salinitě vykazují značně vysokou konduktivitu kolem  $15\,000\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .



Obr. 40 Vypouštění důlních vod z Důlní jámy (DJ) Jeremenko do Ostravice (1. měření)



Obr. 41 Ostravice pod jezem v 7,56 ř. km, stav 30.4.2010 (1. měření)



Obr. 42 Ostravice pod jezem v 7,56 ř. km, stav 17.2.2011 (3. měření)

Koryto Ostravice je kamenité a široké. Již bezprostředně pod výpustí se koryto zužuje z levého a posléze z pravého břehu v úseku cca 400 m (štěrkové lavice, jejichž rozsah a tvar se mění v závislosti na vodním stavu a transportu materiálu dna). Další podobné zúžení řeky se nachází 830–1 050 m pod výpustí z pravého břehu. 540 m pod výpustí v 7,56 ř. km je vybudován jez. V době mezi 2. a 3. měřením proběhly úpravy v korytě a došlo ke stavbě nového opevnění břehů pod jezem. Jak výrazné morfologické změny koryta v tomto úseku nastaly, dokládají uvedené snímky.

*Výsledky měření:*

	$Q_{\text{rec}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$Q_{\text{ov}*} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$B [\text{m}]$	$h [\text{m}]$	$n [-]$	$d_{\text{MZ}} [\text{m}]$
1. měření	8,57	0,226	31,5	0,85	0,068	5 600
2. měření	8,60	0,237	31,6	0,85	0,063	4 730
3. měření	10,32	0,188	31,0	0,90	0,053	4 000

První dvě měření byla realizována broděním, 3. měření v zimním období bylo prováděno ze břehu (měřen rozdíl konduktivity při obou březích). Vzhledem k vysokému objemu vypouštěných vod z DJ Jeremenko a jejich salinitě se tvoří výrazná vlečka znečištění. Tomu napomáhá malá hloubka a velká šířka toku, a to i přes vysokou drsnost koryta. Z primárních výsledků uvedených v Příloze C je patrné, že konduktivita nad místem vypouštění nebyla v době 1. měření konstantní (rozdíl  $222 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ); vlivem vypouštění odpadní vody z Biocelu Paskov, a.s. (viz poř. č. 16). Ve vzdálenosti 1 175 m a 1 745 m od výpusti DV Jeremenko jsou na protějším pravém břehu směrem po proudu menší výpustné objekty, vypouštějící odpadní vody o průměrné konduktivitě  $1\,150 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ , resp.  $760 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ . Jejich vliv na délku mísící zóny DV je zanedbatelný.

3 450 m od místa vypouštění DV do Ostravice se zprava vlévá řeka Lučina. Ostravice těsně nad Lučinou ve všech třech měřeních vykazovala ještě rozdíl konduktivity 205 až  $261 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ . Konduktivita v Ostravici (kolem  $700 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  při pravém břehu) byla vždy vyšší než konduktivita v Lučině-ústí ( $530$  až  $550 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ). Lučina tak nadlepšuje hodnoty konduktivity při pravém břehu, což by mohlo mít za následek prodloužení "mateřské" mísící zóny DV Jeremenko. Ve skutečnosti tomu tak není, protože vlivem podstatného zúžení Ostravice v tomto místě při pravém břehu je hlavní proud směřován výhradně k pravému břehu přímo do ústí Lučiny. Dynamika toku Lučiny se vnořuje do proudu Ostravice, a tím dochází k intenzivnímu promíchávání obou typů říčních vod. Intenzita promíchávání se podle konkrétních podmínek různí, což má s velkou pravděpodobností vliv na konečnou délku mísící zóny DV Jeremenko.

Od soutoku s Lučinou protéká Ostravice centrem města Ostravy. Břehové linie jsou upraveny kamenným záhozem, koryto je pravidelné, s občasnými balvanitými skluzy, které mohou také podporovat účinnější mísení.





Obr. 43 Ústí Lučiny do Ostravice (voda z Lučiny je zakalena), situace při 2. měření

#### Petřvaldská Stružka pod výpustí důlních vod z dolu Žofie (p.č. 18)

*Situace:* Petřvaldská Stružka je drobným vodním tokem protékající antropologicky silně pozměněnou krajinou především důlní činností. Z bývalého dolu Žofie jsou vypouštěny odpadní vody diskontinuálně z levého břehu 0,4 ř. km před vtokem Petřvaldské Stružky do Doubravské Stružky. Odpadní (důlní) vody nejsou příliš zasoleny (konduktivita kolem  $1\,300\,\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ). Břehy koryta jsou z části opevněny v lichoběžníkovém tvaru.

*Výsledky měření:*

	$Q_{\text{rec}} [\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$	$Q_{\text{ov}*} [\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$	B [m]	h [m]	$n [-]$	$d_{\text{MZ}} [\text{m}]$
1. měření	0,172	0,007	3	0,22	0,048	235
2. měření	0,046	0,002	2,9	0,16	0,072	40

Vzhledem k malé šířce toku není mísící zóna příliš rozsáhlá, pro pravidelnost toku a malé množství singularit však činí několik stovek metrů. Při druhém měření nebyly důlní vody vypouštěny a průtok odpadních vod byl malý, jen cca  $2\,\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$ , takže k úplnému smísení došlo podstatně dříve.

Ploučnice pod výpustí DV z podniku Diamo, s.p. závodu Geam Stráž p. Ralskem (p.č. 19)

*Situace:* Ploučnice v měřeném úseku protéká oblastí, kde dříve docházelo k intenzivní těžbě uranu loužením kyselinou sírovou (vtlačení do horninového prostředí), v areálu závodu Geam. Proměřována byla mísící zóna pod výpustí důlních vod z lokality V1 "Pustý" od 83,2 ř. km Ploučnice. Zasolení důlních vod je poměrně vysoké, konduktivita činila  $4\,800\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Tok Ploučnice je zde zcela přímý, pravidelný, oba břehy byly silně zarostlé travnatou vegetací, zasahující do toku. Proud při průtoku blízkému průměru ( $0,97\ Q_a$ ) byl poměrně rychlý ( $0,47\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

*Výsledky měření:*

	$Q_{\text{rec}} [\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$	$Q_{\text{ov}*} [\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$	B [m]	h [m]	n [-]	$d_{\text{MZ}} [\text{m}]$
1. měření	0,973	0,123	4,5	0,46	0,035	600

Vzhledem k rychlosti proudu a přímosti toku došlo k úplnému promísení odpadní vody s vodou povrchovou až po více než 0,5 km s rozdílem konduktivity na konci mísící zóny  $4\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Výhodou této lokality je, že v oblasti mísící zóny se na Ploučnici nachází měrná stanice průtoku povrchových vod.

Podhořský potok pod výpustí Tlakové plynárny Ústí n. Labem, a.s. (p.č. 20)

*Situace:* Podhořský potok je levostranným přítokem Ždírnického potoka, který se následně vlévá do řeky Bíliny. Jde o nejmenší ověřovaný povrchový tok o šířce max. 1 m. Potok protéká antropogenně silně pozměněnou krajinou kolem průmyslových areálů. Výpust z Tlakové plynárny, a.s. se nachází na cca 2,5 ř. km (celková délka potoka je jen o málo větší). Oba břehy potoka jsou zarostlé bujnou travnatou vegetací. Koryto je nepravidelné, bahnité. Voda i sediment jsou zabarveny do červena usazeninami solí železa.

*Výsledky měření:*

	$Q_{\text{rec}} [\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$	$Q_{\text{ov}*} [\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$	B [m]	h [m]	n [-]	$d_{\text{MZ}} [\text{m}]$
1. měření	0,020	0,001	1	0,13	0,045	15

Jde o jediný případ, kdy vypouštěná odpadní voda vykazovala nižší konduktivitu ( $1\,250\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) než povrchová voda ( $1\,838\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ). Potok je tedy hodně znečištěn

anorganickými solemi a vypouštění jeho kvalitu mírně nadlepšuje (konduktivita na konci mísící zóny se snížila o  $167 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ). Mísící zóna mohla být určena pro dostatečný rozdíl mezi konduktivit odpadní a povrchové vody.

#### Svitava pod výpustí podniku Telluria, s.r.o. Skrchov (p.č. 21)

*Situace:* V intravilánu obce Skrchov (106 obyvatel) se nachází podnik Telluria, s.r.o. na výrobu nátěrových hmot. Řeka Svitava se na hranici průmyslového areálu odklání od výrobního areálu vlevo a přímo pokračující náhon prochází podnikem v geometricky pravidelném korytě, avšak s častými nánosy říčního sedimentu vytvářejícím travinami porostlé ostrůvky. V náhonu proudí odhadem 1/4 původního průtoku řeky Svitavy. Vypouštění z podniku je lokalizováno na pravém břehu Svitavy cca 20 m před začátkem náhonu.



Obr. 44 Počátek rozvětvení toku Svitavy v obci Skrchov



Obr. 45 Měření konduktivity na soutoku Svitavy a náhonu v obci Skrchov

Asi 110 m od začátku náhonu, jehož celková délka činí 500 m, jsou do něj zaústěny odpadní vody z obecní ČOV. Objem vypouštěných odpadních vod obou výpustí v době měření byl nízký,  $2 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ , resp.  $1 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ .

#### *Výsledky měření:*

Telluria	$Q_{\text{rec}} [\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$	$Q_{\text{ov}*} [\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$	B [m]	h [m]	$n [-]$	$d_{\text{MZ}} [\text{m}]$
1. měření	0,98/0,2*	0,001	7/5*	0,25/0,15*	0,078	< 147

\* odhad náhon

Odpadní vody z podniku Telluria, s.r.o. vykazovaly v porovnání s tokem dostatečně vysokou konduktivitu (kolem  $1\,500\,\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), významnost zdroje z pohledu mísící zóny je ale nízká pro malý objem odpadních vod. Její spolehlivé určení nebylo možné kvůli rozvětvení toku a nepřístupnosti náhonu pod výrobními objekty závodu. Bylo ověřeno, že nad výpustí ČOV Skrchov byla konduktivita v příčném profilu v náhonu vyrovnána (cca 147 m pod výpustí Telluria, s.r.o.).

ČOV Skrchov	$Q_{\text{rec}} [\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$	$Q_{\text{ov}} [\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$	B [m]	h [m]	$n [-]$	$d_{\text{MZ}} [\text{m}]$
1. měření	0,98/0,2*	0,001	7/5*	0,25/0,15*	0,093	40

\* odhad náhon

Rozdíl konduktivity odpadní vody z ČOV Skrchov a povrchové vody v náhonu byl malý, jen necelých  $100\,\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Vzhledem k malému objemu vypouštění bylo mísící zóny dosaženo po 40 m. Konduktivita na konci náhonu a v řece Svitavě (Obr. 45) byla nalezena konstantní.

#### Zdobnice pod výpustěmi podniku ESAB Vamberk, s.r.o. (p.č. 22)

*Situace:* Na samém konci Zdobnice před jejím ústím do Divoké Orlice se nachází město Vamberk. Významným průmyslovým podnikem v intravilánu města je ESAB Vamberk, s.r.o., jehož odpadní vody jsou do Zdobnice svedeny několika výpustěmi. Předmětem ověření mísící zóny byla i městská ČOV Vamberk. Řeka Zdobnice je klasickým podhorským tokem, pramenícím v CHKO Orlické hory. Koryto v intravilánu města je tvořeno drobnými oblázky. V některých částech města jsou břehy opevněny kamenným záhozem s lichoběžníkovým tvarem koryta, v zástavbě je častější obdélníkový tvar s kolmými kamennými břehy. Výjimkou však nejsou ani oblasti s přirozenými břehy. Pod městem je Zdobnice opět zcela přirozeným tokem. V zájmové oblasti se nachází několik nízkých stupňů, a dvěma jezy na 2,13 ř. km a 1,8 ř. km. Pod jezy jsou v korytu ostrůvky naplavenin pokryté travinami. Pod 2. jezem se koryto řeky výrazně zužuje. Průtokové poměry v době měření byly slabě podnormální kolem  $0,35\,Q_a$ , resp.  $3\,Q_{355}$ . Výsledky měření jsou uvedeny pro každou výpust zvlášť. Povrchová voda nad výpustěmi vykazovala nízkou konduktivitu 120 až  $130\,\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .



Obr. 46 Koryto řeky Zdobnice pod jezem v 2,13 ř. km (pod výpustí ESAB, V2)

*Výsledky měření:*

V1, K1	$Q_{\text{rec}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$Q_{\text{ov}*} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	B [m]	h [m]	$n [-]$	$d_{\text{MZ}} [\text{m}]$
1. měření	0,87	0,001/0,007*	11,1	0,3	0,061	310
2. měření	0,91	0,002/0,007*	11,1	0,3	0,061	315

\* první hodnota náleží výpusti ESAB, V1, druhá hodnota kanalizační výpusti města K1

Výpustí č. 1 s podniku ESAB Vamberk, s.r.o. byl z pravého břehu v 2,87 ř. km vypouštěn jen 1 až 2 litry odpadní vody za sekundu o kolísavé konduktivitě  $623$  a  $181 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  (1. a 2. měření). Cca 10 m pod touto výpustí jsou z protějšího břehu vypouštěny vody z místní kanalizace (nazvána K1) v množství cca  $7 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$  o stabilní konduktivitě kolem  $520 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ . Určená mísicí zóna tak odpovídá převážně vlečce znečištění z kanalizace K1. Pod mostním objektem několik desítek metrů nad koncem mísicí zóny je z levého břehu další kanalizační výpust (K2), která je částečně utopená v toku a jen s nepatrným vlivem na průběh mísení předcházejících zdrojů znečištění. Rozsah mísicí zóny 1. a 2. měření byl shodný.

*Výsledky měření:*

V2	$Q_{\text{rec}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$Q_{\text{ov}*} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	B [m]	h [m]	$n [-]$	$d_{\text{MZ}} [\text{m}]$
1. měření	0,86	0,015	12,8	0,25	0,078	740
2. měření	0,90	0,0006	15,0	0,25	0,078	340

Výpust č. 2 z pravého břehu v 2,3 ř. km vykazovala konduktivitu  $1\,210 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  (1. měření) a  $3\,800 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  (2. měření). 350 a 377 m pod výpustí se na protějším břehu



nacházejí dvě drobnější kanalizační výpusti s konduktivitou 700 resp. 300  $\mu\text{S.cm}^{-1}$  (1. měření). Vzhledem k jejich umístění na protějším břehu mohou mísicí zónu výpusti ESAB V2 spíše zkracovat. Mísicí zóna byla nalezena 740 m pod výpustí. Při druhém měření bylo z výpusti V2 vypouštěno cca 3x menší množství odpadní vody. Mísicí zóny tak bylo dosaženo podstatně dříve.

*Výsledky měření:*

V3	$Q_{\text{rec}} [\text{m}^3.\text{s}^{-1}]$	$Q_{\text{ov}*} [\text{m}^3.\text{s}^{-1}]$	B [m]	h [m]	$n [-]$	$d_{\text{MZ}} [\text{m}]$
1. měření	0,86	0,010	8,8	0,35	0,067	250
2. měření	0,92	0,0007	8,8	0,35	0,067	92

Výpust č. 3, rovněž z pravého břehu v 1,0 ř. km, vykazovala konduktivitu 1 138  $\mu\text{S.cm}^{-1}$  (1. měření) a 721  $\mu\text{S.cm}^{-1}$  (2. měření). Vlivem menší šířky koryta a jeho vysoké drsnosti byla mísicí zóna kratší, než u předchozích dvou výpustí ESAB Vamberk, s.r.o. To platí především pro 2. měření, kdy objem vypouštěných odpadních vod byl nižší než při prvním měření.

#### Zdobnice pod výpustí městské ČOV Vamberk (p.č. 23)

*Situace:* Zdobnice před samým ústím do Divoké Orlice teče přirozeným korytem. Koryto má kamenné, oblázkové dno. ČOV Vamberk vypouští odpadní vody v 0,47 ř. km.

*Výsledky měření:*

	$Q_{\text{rec}} [\text{m}^3.\text{s}^{-1}]$	$Q_{\text{ov}*} [\text{m}^3.\text{s}^{-1}]$	B [m]	h [m]	$n [-]$	$d_{\text{MZ}} [\text{m}]$
1. měření	0,86	0,0005	8,8	0,35	0,061	200
2. měření	0,92	0,0045	8,8	0,35	0,061	140

Vlivem menší šířky koryta a jeho vysoké drsnosti bylo mísicí zóny dosaženo dříve ve srovnání s výpustěmi V1 a V2 ESAB Vamberk, s.r.o. Při 2. měření byl objem vypouštěných odpadních vod o něco vyšší, ale konduktivita byla proti 1. měření nižší (pokles z 1 076  $\mu\text{S.cm}^{-1}$  na 774  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ).

#### 4.2 Srovnání výsledků terénních měření s vypočteným rozsahem mísící zóny

Experimentálně zjištěná data o rozsahu mísící zóny prezentovaná v kapitole 4.1 a Příloze C byla porovnána s vypočteným rozsahem mísící zóny podle vztahů Fischera (15), Kilpatricka (16), Yotsukura (17), Sanderse (18) a Ruthvena (19) uvedených v kapitole 3.3. Všechny výše uvedené vztahy na základě vlastních terénních experimentů vycházejí ze základního předpokladu, že rozsah mísící zóny je přímo úměrný rychlosti proudění v toku a druhé mocnině jeho šířky, a nepřímo úměrný hloubce toku.

Parametr  $m$  vyjadřuje typ umístění výpusti. V případě Fischerova vztahu nabývá hodnot 0,4 pro vypouštění ze břehu a 0,1 pro vypouštění zprostředka toku. V žádné z ověřovaných lokalit nebylo realizováno vypouštění odpadních vod zprostředka toku, nicméně při výpočtech byla hodnota parametru  $m = 0,1$  použita v těch případech, kdy vlečka znečištění ze břehu vlivem rychlosti proudění odpadní vody zasahovala až do středu toku (Hutní potok) nebo až k protilehlému břehu (Lučina).

Další modifikace vztahů je dána zařazením koeficientu nepravidelnosti koryta  $\alpha$ , třetí rychlosti  $u_*$  a konstanty upravující významnost hloubky toku. Třetí rychlost  $u_*$  byla v souladu s literaturou volena 5 až 10 % rychlosti proudění  $U$ : 5 % u hlubokých (nebroditelných) toků, kde se předpokládá menší vliv drsnosti koryta (Labe) a 10 % u broditelných toků, kterých byla naprostá většina.

Koeficient nepravidelnosti koryta  $\alpha$  byl volen v rozsahu 0,25 až 0,75 (se vzrůstající nepravidelností koeficient roste). V případě rovných úseků toků s pravidelnou hloubkou a šířkou toku byl volen koeficient 0,3; v případě značné proměnlivosti (např. meandrování), objektů v toku a náhlých zakřivení toku až hodnoty 0,75.

Výsledky výpočtů podle vztahů Fischera, Kilpatricka, Yotsukura, Sanderse a Ruthvena jsou uvedeny v elektronické Příloze I (příložené CD) a shrnuty v následující Tabulce 4.

Tabulka 4 Srovnání experimentálně naměřených dat rozsahu mísící zóny a hodnot jejich rozsahu vypočtených podle vztahů (15–19)

Poř. č.	Název toku / lokalita	Č. měření	$d_{MZ}$	$d_{MZ}$	$d_{MZ}$	$d_{MZ}$	$d_{MZ}$	$d_{MZ}$
			Experimentálně	Fischer	Kilpatrick	Yotsukura	Sanders	Ruthven
			m	m	m	m	m	m
1	Bečva (Deza)	1.	1860 až 2460	7845	750	2468	29844	4477
		2.	690	10194	676	2225	33241	4986
2	Bezejmenný p. (přítok Žižkova p.)	1.	28	123	3	9	399	60
		2.	50	101	3	10	329	49
3	Bohumínská Stružka	1.	90	171	6	19	696	104
4	Hutní potok	1.	5	60	10	32	978	147
	Bílina	1.	750	1333	91	300	2174	326
5	Labe I (Hr. Králové)	1.	>1850	23739	486	1600	38704	5806
		2.	>1000	24480	477	1572	39914	5987
6	Labe II (Pardubice)	1.	2500	30989	1198	3946	58946	8842
		2.	1750	29477	1174	3864	56070	8410
7	Labe III (Ústí n. L.)	1.	20250	127501	12431	40928	346471	51971
		2.	16140	91754	13419	44179	249330	37400
8	Lučina (Mittal)	1.	160	145	176	581	2201	330
		2.	180	175	153	502	2658	399
		3.	110	227	165	544	3453	518
9	Morávka (Žižkův p.)	1.	250	3075	555	1826	12535	1880
		2.	400	2667	559	1840	10870	1630
10	Odra	1.	3100	15367	809	2664	25054	3758
		2.	2820	17241	639	2103	28110	4217
11a	Olše KČOV1	1.	480	5614	1095	3604	22883	3432
		2.	410	5914	1038	3417	24105	3616
11b	Olše KČOV2	1.	700	11267	1318	4340	36739	5511
		2.	280	11905	1346	4433	38820	5823
12	Opava	1.	1150	1440	176	579	3131	470
		2.	820	1567	104	341	5100	765
13	Opusta	1.	40	250	6	19	543	82
		2.	30	242	7	23	526	79
15	Ostravice I (F. Místek)	1.	2970	8338	797	2623	31722	4758
		2.	2334	7052	908	2988	22995	3449
		3.	1800	9308	805	2649	35409	5311

Poř. č.	Název toku / lokalita	Č. měření	$d_{MZ}$	$d_{MZ}$	$d_{MZ}$	$d_{MZ}$	$d_{MZ}$	$d_{MZ}$
			Experimentálně	Fischer	Kilpatrick	Yotsukura	Sanders	Ruthven
			m	m	m	m	m	m
17	Ostravice III (Jeremenko)	1.	5600	7184	971	3198	25377	3807
		2.	4730	7832	977	3218	25539	3831
		3.	4000	7119	1027	3382	23213	3482
18	Petrkovická Stružka	1.	235	327	28	91	889	133
		2.	40	421	14	45	1143	171
19	Ploučnice	1.	600	440	54	177	957	144
20	Podhořský potok	1.	15	44	3	10	167	25
21b	Svitava (ČOV Skrchov)	1.	40	889	143	471	3623	543
22a	Zdobnice ESAB V1, K1	1.	310	3286	278	914	8928	1339
		2.	315	3286	288	949	8928	1339
22b	Zdobnice ESAB V2	1.	740	4369	460	1515	14247	2137
		2.	340	6000	562	1849	19565	2935
22c	Zdobnice ESAB V3	1.	250	1770	161	530	4810	721
		2.	92	1770	173	568	4810	721
23	Zdobnice II (ČOV Vamberk)	1.	200	1770	161	530	4810	721
		2.	140	1770	173	568	4810	721

Pro výpočet shody mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami rozsahu mísící zóny byl zvolen poměr  $d_{MZ}$  (experiment.) /  $d_{MZ}$  (vypočtený) dle vztahů (15 až 19). Míra shody byla určena podle následujících intervalů těsnosti výsledku, které bylo přiřazeno bodové skóre:

1. intervalu shody 0,9 až 1,2 přiřazeny 2 body
2. intervalu shody 0,5 až 0,89 přiřazen 1 bod
3. intervalu shody 1,21 až 2,0 přiřazen 1 bod

Výsledkům, které se nacházely mimo uvedené intervaly shody, nebyl přiznán žádný bod. Hodnoty poměrů  $d_{MZ}$  (experiment.) /  $d_{MZ}$  (vypočtený) dle vztahů (15 až 19) pro jednotlivé lokality jsou uvedeny v Příloze E. Výsledné bodové skóre prezentuje Tabulka 5. Výsledky jsou také uvedeny v elektronické Příloze I (přiložené CD). Parametr umístění výpusti (parametr  $m$ ) podle Fischera je v této příloze uveden jako  $m_I$ .

Tabulka 5 Vyhodnocení shody experimentálně naměřených dat rozsahu mísicí zóny a hodnot jejich rozsahu vypočtených podle vztahů (15–19)

Kritéria shody	Počet bodů				
	Fischer	Kilpatrick	Yotsukura	Sanders	Ruthven
0,9–1,2	2	4	1	0	3
0,5–0,89	1	7	9	0	4
1,21–2,0	8	7	4	1	5
<b>Celkem bodů</b>	<b>13</b>	<b>22</b>	<b>15</b>	<b>1</b>	<b>15</b>

Maximálního skóre (shody) dosáhl vztah Kilpatricka. Z celkových 45 měření využitelných pro hodnocení jsou ze všech testovaných vztahů však pouze 4 měření s nejvyšší těsností 0,9–1,2. Druhý nejlepší výsledek shody se skutečným rozsahem mísicí zóny dosáhl vztah Yotsukury. Vztahy Kilpatricka a Yotsukury se liší pouze velikostí konstanty ve vzorci. Pokud mezi sebou porovnáme průměrný poměr shody s experimentálními výsledky ze všech lokalit (Příloha E), vychází shoda nejlépe pro vztah Kilpatricka (0,90) následovaný vztahem Yotsukury (2,98), Ruthvena (4,43) a Fischera (8,10). Je zajímavé, že největší shody dosáhly vzorce, které nepočítají s vlivem třecí rychlosti a nepravidelností koryta.

Shoda mezi experimentálními výsledky a vypočtenými hodnotami není tedy příliš velká. To je zapříčiněno několika zásadními skutečnostmi:

1. Výpočet je proveden jednoduchými vztahy, které byly odvozeny z testů provedených za jednodušších (laboratorních) podmínek, než jsou ty, které existují v přírodě. Pokud byly odvozeny z pozorování v přírodě, může jít o toky odlišného charakteru ve srovnání s toky v ČR.
2. Vychází se z průměrných hodnot jednotlivých parametrů potřebných pro výpočet. Variabilita těchto parametrů v přírodních tocích je vysoká, výsledek délky mísicí zóny je proto jen přibližný.
3. Ve vztazích (15 až 19) není zahrnut parametr drsnosti toku. Tu částečně zastupují parametry třecí rychlost (5 až 10 % průměrné rychlosti proudění) a parametr nepravidelnosti koryta (0,25 až 0,75).

4. Délka mísící zóny závisí na průtoku v recipientu (průtok ovlivňuje velikost součinitele drsnosti) a uvedené vztahy tuto veličinu neobsahují.
5. V uvedených vztazích se nepočítá s koncentrací polutantů ve vlečce znečištění a není zahrnut ani parametr zohledňující vypouštěné množství odpadních vod. Ze zkušeností terénních měření vyplynulo, že i míra znečištění a objem odpadní vody mají na rozsah mísící zóny vliv.
6. V testovaných lokalitách v ČR převládaly drobné a střední toky s vysokou drsností a nepravidelností (specifikum toků, které se nachází „na střeše“ tří významných mezinárodních povodí).
7. V několika lokalitách byla vypouštění z pohledu objemu odpadních vod málo významná, ředící faktor v toku je příliš vysoký.
8. Vzhledem k vysoké citlivosti měření konduktivity mohou v některých případech výsledky zkreslovat rušivé vlivy, které nebyly zřejmé (např. zcela „utopené“ výpusti odpadních vod, drobné přítoky povrchových vod skryté vegetací, apod.).
9. Hloubka, šířka toku a rychlost proudění byly zjišťovány přibližně (bodově), bez hydrometrování.

#### *4.3 Vlivy nepřesnosti dat na rozsah mísící zóny*

Při zjišťování jednotlivých parametrů rozhodných pro výpočet rozsahu mísící zóny je důležité snažit se o pokud možno o dostatečnou přesnost. V terénních podmínkách není vždy snadné (nebo i nemožné) proměřit hloubku a další parametry s dostatečnou přesností. Výsledky jsou zatíženy větší či menší chybou. Jaký mají tyto nepřesnosti vliv na celkový výsledek v případě vztahů (15–19)? Pro testování byl vybrán příklad 1. měření na řece Bečvě (poř. č. 1), která je středně velkým podhorským tokem s vysokou drsností. Přitom bylo vycházeno z předpokladu, že každý parametr je zatížen relativně malou chybou +5 % (ve skutečnosti se velikost chyby různí pro každý parametr na základě místních podmínek a může být i vyšší než deklarovaných 5 %). Shodná velikost chyby byla zvolena pro možnost srovnání jednotlivých vztahů. Výsledky jsou shrnuty v Tabulce 6.

Tabulka 6 Vyhodnocení vlivu nepřesnosti dat na rozsah mísící zóny vypočtených podle vztahů (15–19)

Parametr	Velikost chyby	Procento chyby na konečném výsledku				
		Fischer (15)	Kilpatrick (16)	Yotsukura (17)	Sanders (18)	Ruthven (19)
Šířka toku $B$	+ 5 %	+ 10,3	+ 10,1	+ 10,3	+ 10,3	+ 10,2
Rychlost proudění $U$	+ 5 %	+ 5,0	+ 4,9	+ 5,0	+ 5,0	+ 5,0
Hloubka toku $h$	+ 5 %	- 4,8	- 4,8	- 4,8	- 4,8	- 4,8
Koef. nepravidelnosti $\alpha_y$	+ 5 %	- 4,8	není relevantní			
Třecí rychlost $u_*$	+ 5 %	- 4,8	není relevantní		- 4,8	- 4,8
<b>Minimální možná chyba</b>		<b>±0,9</b>	<b>±9,7</b>	<b>±10,5</b>	<b>±5,7</b>	<b>±5,6</b>
<b>Maximální možná chyba</b>		<b>±29,7</b>	<b>±19,8</b>	<b>±20,1</b>	<b>±24,9</b>	<b>±24,8</b>

Vzhledem k tomu, že se část parametrů nachází v čitateli a část ve jmenovateli jednotlivých vztahů, existuje množství variant velikosti celkové chyby, které se navzájem mohou sčítat nebo vyloučit. Z Tabulky 6 je zřejmé, že i z relativně malé nepřesnosti určení vstupních veličin může vzniknout významná celková chyba výsledku. Platí to zvláště pro výpočet podle Fischerova vztahu. Reálná míra nepřesnosti stanovení jednotlivých parametrů bude pravděpodobně vyšší než testovaných 5 %. Nepřesnost vstupních parametrů lze snížit pečlivou rekognoskací zájmového úseku toku a hydrometrováním. Problematický je správný odhad koeficientu  $\alpha_y$  ve vztahu podle Fischera, protože nikde není v dostupné literatuře k dispozici autorem zpracovaná charakteristika lokalit a k nim přiřazených hodnot koeficientu. Záleží výhradně na zkušenosti a subjektivním posouzení proveditele.

#### 4.4 Modifikace vztahu pro výpočet rozsahu mísící zóny

Všechny testované vztahy (15-19) vycházejí ze společného základního vyjádření, které spočívá v přímé závislosti délky mísící zóny na druhé mocnině šířky toku a rychlosti proudění a v nepřímé závislosti na hloubce toku. Byl učiněn pokus modifikovat vztah Fischerův, který sice nedosahuje nejtěsnějších výsledků shody mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami, ale obsahuje ve vzorci maximum parametrů, které mohou rozsah mísící zóny ovlivnit.

Modifikace vztahu (15) spočívala ve dvou úpravách:

1. v náhradě koeficientu nepravidelnosti toku  $\alpha_y$  a třecí rychlosti  $u_*$
2. v modifikaci konstanty vyjadřujících umístění výpusti vůči toku (0,4 a 0,1)

Jak je zřejmé z Obr. 9, v místech styku vodního sloupce s korytem toku dochází k tření, jež působí zpomalování rychlosti proudění. Na charakteru dna a omočených břehů závisí míra tření, která je zákonitě tím větší, čím je styčná plocha drsnější a méně homogenní. Tuto skutečnost zohledňují ve svých vztazích Fischer, Sanders a Ruthven jako třecí rychlost  $u_*$ . Tito odvodili, že třecí rychlost činí 5 až 10 % rychlosti proudění toku. Zde navržená modifikace spočívá v náhradě třecí rychlosti  $u_*$  přímo součinitelem drsnosti toku  $n$ . To má své výhody v tom, že stanovení drsnosti toku je v praxi praktičtější a běžnější. Náhrada parametru  $u_*$  za  $n$  je příbuzná i číselně ( $u_*$  použitá v experimentech se pohybovala v rozmezí hodnot 0,01 až 0,065).

Drsnost, resp. součinitel drsnosti může být zjištěn:

- a) z katalogů drsnosti
- b) z tabulek
- c) výpočtem
- d) měřením v terénu

Ad a)

Odhad součinitele drsnosti může být získán porovnáním zájmového úseku toku vizuálně s vzorovými katalogy. Jedním z národních on-line zdrojů je obrazových katalogů autorů VÚT Brno [36,37]. K dispozici jsou i zahraniční on-line katalogy, množství odkazů je uvedeno v [40]. Úskalím, na které je třeba brát zřetel, je možný odlišný charakter toků v jiných krajinách.

Ad b)

Nejběžnější praxí je odhad součinitele drsnosti porovnáním skutečnosti s tabelárně publikovanými hodnotami. K dispozici jsou hodnoty Manningova součinitele drsnosti, např. [35], součinitele drsnosti horských a podhorských řek podle Noskova [40], který kategorizuje toky podle sklonu koryta a průtoku, a součinitele drsnosti podle Chowa a podle Skribného [40]. Pro jeden typ toku se hodnoty uváděného součinitele drsnosti



podle uvedených autorů mírně liší, nicméně většina autorů uvádí pro daný typ toku interval hodnot (minimální, střední, maximální). Jednoduchou tabulku součinitele drsnosti v závislosti na zrnitosti substrátu uvádí Coon (1998) [41]:

Tabulka 7 Součinitel drsnosti v závislosti na zrnitosti substrátu podle Coona (modifikoval Mattas) [40]

Materiál	Hrubý písek	Jemný štěrk	Štěrk	Hrubý štěrk	Velmi hrubý štěrk	Malé oblázky	Oblázky	Balvany
Velikost [mm]	1–2	4–8	2–64	16–32	32–64	64–128	64–256	> 256
$n$	0,026 až 0,035	0,024	0,028 až 0,035	0,028	0,032	0,036	0,030 až 0,050	0,040 až 0,070

Ad c)

Pro výpočet součinitele drsnosti existuje celá řada empiricky odvozených vztahů, které pracují s různým druhem proměnných. V následujícím textu jsou uvedeny jen některé z nich.

Jobson a Froehlich (1988) [42] odvodili vztah:

$$n = 0,245R^{0,14} \left( \frac{R}{d_{50}} \right)^{-0,44} \left( \frac{R}{B} \right)^{0,30} \quad \text{vztah (33)}$$

kde je:

R hydraulický poloměr ve stopách

B šířka toku ve stopách

$d_{50}$  charakteristická hodnota zrna ve stopách

Charakteristická hodnota zrna se odečte ze zrnitostní křivky. Její zjištění vyžaduje terénní odběr reprezentativního vzorku, což může být obtížné, protože substrát není zvláště na horských a podhorských štěrkonosných tocích stejnorodý, ale místo od místa se může významně lišit.

Možná i z toho důvodu několik autorů zahrnuje do svých vzorců sklon hladiny nebo čáry energie. Například Jarrett (1984) [43] na základě svých měření odvodil výraz:

$$n = 0,32 i_E^{0,38} R^{-0,16} \quad \text{vztah (34)}$$

kde  $i_E$  je sklon čáry energie [-].

Mattas (2003) [44] na základě vlastních měření a dostupných dat uvedených v literatuře uvádí vztah blízky Jarrettovu:

$$n = 0,267 i^{0,323} R^{-0,152} \quad \text{vztah (35)}$$

kde  $i$  je sklon [-].

Oba vztahy (34) a (35) platí pro toky s hrubozrným substrátem (hrubý štěrk a větší) a větších gradientů ( $i > 0,002$ – $0,005$ ). Do této kategorie patří horské a podhorské toky, se substrátem větších zrnitostí a často se vyskytujícími většími valouny nebo balvany, které již zhusta spadají do oblasti makrodrsnosti definované podmínkou  $h/d_{50} < 2$ .

Pozorování z poslední doby ukazují, že hydraulické odpory takových toků jsou i podstatně (až 2x) vyšší, než by se dalo očekávat na základě zkušeností z toků s menšími gradienty a stejnou relativní drsností (Jarrett, 1992) [45]. Přitom při stejné relativní drsnosti se odpory koryta zvyšují se zvětšujícím se hydraulickým gradientem vzhledem ke zvyšující se intenzitě turbulence v úplavech makrodrsnostních prvků a ztrátám energie v lokálních vodních skocích pod balvany. Odpory proudění se přitom výrazně mění v závislosti na hloubce proudu.

Pokud tedy použijeme Manningův součinitel drsnosti, obvykle v něm automaticky zohledňujeme celkový charakter jistého úseku koryta, přičemž lokální detaily, nepravidelnosti koryta a jeho singularity (zúžení, rozšíření koryta apod.) zahrnujeme do odhadu celkové hodnoty.

Ad d)

Měření, pokud je správně provedeno, je nejspolehlivější metodou určení součinitele drsnosti, je však časově a tedy i finančně náročné, protože měření musí v terénu provádět několik osob. Metodický postup pro hydrometrování byl vypracován např. Matouškem aj., (2011) na Stavební fakultě ČVUT v Praze [46].

Pro určení součinitele drsnosti musíme znát několik základních parametrů:

- a) průtok  $Q$ , resp. střední průřezovou rychlost  $v$ ,

- b) průtočnou plochu  $S$
- c) omočený obvod  $O$ ,
- d) hydraulický poloměr  $R$ ,
- e) sklon čáry energie  $i_E$ .

Protože se součinitel drsnosti mění s vodním stavem (průtokem), je žádoucí provést měření za několika různých průtoků tak, aby tuto závislost bylo možné alespoň přibližně určit. Nejdůležitější je zvolit správnou lokalitu pro měření, která je pro daný úsek toku charakteristická a je v něm, pokud možno, rovnoměrné ustálené proudění.

Na velikost součinitele drsnosti nemá vliv pouze charakter substrátu v korytě toku, ale i další vlivy. Hodnota Manningova součinitele drsnosti je vysoce proměnlivá a závisí na množství faktorů:

- a) povrchová drsnost – je charakterizována velikostí zrn omočeného obvodu koryta; čím jemnější je zrno, tím nižší je hodnota součinitele drsnosti  $n$  a naopak
- b) nepravidelnosti koryta – variace velikosti a tvaru příčného profilu koryta, daná proměnlivostí šířky toku a hlavního proudu s úseky vymílání a zanášení sedimentovatelnými splaveninami; na vzrůst drsnostního součinitele mají vliv především náhlé změny
- c) překážky v toku – singularity v toku, jako např. velké balvany, mostní pilíře, šterkové lavice, jezy a jiné vodní stavby (zvl. vodní elektrárny) zvyšují drsnost a výrazně podporují proces mísení; záleží na charakteru a počtu překážek
- d) vegetace – při nízkých průtokových stavech je relevantní zarůstání koryta a břehových partií vegetací (makrofyta, řasy) ve vegetačním období
- e) zakřivení toku – oblouky s malými poloměry zvyšují hodnoty  $n$  více než s táhlými oblouky velkého poloměru; u meandrujících toků může být drsnostní součinitel vyšší až o 30 % [40]
- f) vodní stav – čím nižší vodní stav, tím výrazněji se projevuje vlastní drsnost koryta, která stoupá také při povodňových stavech spojených s rozlitím do inundačního území.

Obecně jsou hodnoty součinitele drsnosti spíše podhodnocovány než nadhodnocovány. Z toho důvodu jsem se rozhodl pro použití metody výpočtu součinitele drsnosti  $n$  podle Cowa [36,40], který zohledňuje výše uvedené faktory (vyjma vodního stavu).

Cowanova metoda představuje přístup, při kterém se viditelným parametrům, jako je povrch, průřez, překážky, vegetace, meandry, přiřazují součinitele drsnosti, které se vzájemně sčítají podle následujícího vztahu:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \cdot m_5 \quad \text{vztah (36)}$$

kde je:

$n$  výsledná celková drsnost [-]

$n_0$  drsnost materiálu (substrátu koryta) [-]

$n_1$  drsnost povrchu vlivem jeho nepravidelnosti [-]

$n_2$  drsnost způsobená nepravidelností průřezu koryta [-]

$n_3$  drsnost způsobená překážkami v korytě [-]

$n_4$  drsnost způsobená přítomnou vegetací [-]

$m_5$  faktor zohledňující zakřivení toku (meandrování) [-]

Drsnosti přisuzované jednotlivým parametrům jsou uvedeny v Tabulce 8. Míra subjektivity je omezena stručným slovním popisem a rozmezím hodnot.

Tabulka 8 Hodnoty drsnosti podle Cowa [36,40]

Parametr	Popis	Stav	Hodnoty
$n_0$	materiál	zemina	0,020
		písek 1–2 mm	0,024
		skála	0,025
		štěrk 2–20 mm	0,028
$n_1$	povrch	hladký, urovnaný materiál	0,000
		malé nepravidelnosti	0,005
		střední nepravidelnosti	0,010
		hrubý povrch, výmoly	0,020
$n_2$	průřez	postupná plynulá změna	0,000
		ojedinělé změny	0,005

Parametr	Popis	Stav	Hodnoty
		časté změny	0,010–0,015
$n_3$	překážky	zanedbatelné	0,000
		nevýrazné	0,010–0,015
		citelné	0,020–0,030
		značné	0,040–0,060
$n_4$	vegetace	nízký – ohebná tráva a proutí	0,005–0,010
		střední – neohebné, buřň	0,010–0,025
		velký – keře a buřň	0,025–0,050
		výrazný – buřň, keře, stromy	0,050–0,100
$m_5$	meandry	mírné	1,000
		střední	1,150
		silné	1,300

Věrohodnost Cowanovy metody byla podle [36] ověřena na reálných tocích. U málo drsných toků s drsností pod 0,030 Cowanova metoda většinou drsnost nadhodnocovala a u velmi drsných toků s drsností nad 0,080 naopak drsnost podhodnocovala. V oblasti drsností 0,030 až 0,080 vykazovala Cowanova metoda dobrou shodu s naměřenými daty. Určitým nedostatkem metody je, že chybí hodnoty součinitelů pro betonové povrchy, kameny a balvany (metoda odvozena pro mikrodrsnost). Metoda neuvažuje vliv splavenin. Je také zatížená vysokou mírou subjektivity, protože popis stavu pro přiřazení součinitele drsnosti je málo specifický.

Jak již bylo uvedeno výše, drsnost koryta se mění rovněž s průtokem a tedy i s hloubkou. U málo hlubokých (broditelných) toků s klesajícím průtokem se drsnost dna projevuje výrazněji než při průměrných nebo zvýšených stavech vody (pozn.: pro účely této práce se nepočítá s povodňovými stavy, kdy dochází k rozlití vody mimo koryto; v těch případech koeficient drsnosti opět narůstá). V případě řešení problematiky mísící zóny jsou předmětem zájmu především nízké průtokové stavy, kdy se vliv bodového znečištění projevuje výrazněji díky nižšímu stupni řešení odpadní vody v toku.

Proto bylo na základě poznatků prezentovaných v katalogu drsností, v části zohledňující stav vody ve vodním toku [36], přikročeno k zohlednění vodního stavu zavedením dalšího faktoru  $p_6$  navrženého podle následujících kritérií:

Tabulka 9 Korekce drsnosti v závislosti na průtoku v toku

Parametr	Popis	Hydrologický stav	Hodnota faktoru
$p_6$	průtok	blízký $Q_{355}$ (stav sucha)	až 2,000
		blízký průměrnému průtoku $Q_a$	1,000
		blízký dvojnásobku $Q_a$	0,75

Pokud se průtok v době měření pohyboval mezi výše uvedenými mezními hodnotami, byl faktor korekce drsnosti na průtok upraven v rámci příslušného intervalu (např. 1,3 při průtoku odpovídajícím  $2 \cdot Q_{355}$  v závislosti na místních podmínkách). Výsledná drsnost je pak dána upraveným Cowanovým vztahem:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \cdot m_5 \cdot p_6 \quad \text{vztah (37)}$$

Nyní můžeme definovat nově navržený modifikovaný Fischerův vztah pro výpočet rozsahu mísící zóny jako:

$$L_{mh} = m \frac{U \cdot B^2}{1,2 n \cdot h} \quad \text{vztah (38)}$$

kde je:

$m$  parametr, který závisí na umístění výpustného potrubí v recipientu

$U$  průměrná rychlost proudění vody v toku v  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

$B$  průměrná šířka toku v metrech

$n$  výsledná drsnost vypočtená podle vztahu (37)

$h$  průměrná hloubka toku

Koeficient nepravidelnosti toku  $\alpha_y$  byl z původního Fischerova vztahu vypuštěn a nahrazen konstantou 1,2 (z důvodu dosažení lepší shody se skutečným rozsahem mísící zóny).

Další modifikace vztahu (38) spočívala ve zpřesnění parametru  $m$ . Pokud se výpust nachází u břehové linie, je podle Fischera hodnota  $m = 0,4$ ; pokud je výpust umístěna uprostřed toku, je hodnota  $m = 0,1$ . Je tedy zřejmé, že čím více zasahuje vlečka znečištění

do koryta toku, tím intenzivnější je míchání odpadní a povrchové vody a tím kratší je výsledná mísící zóna. Jak moc zasahuje v místě výpusti vlečka znečištění do toku, závisí především na rychlosti proudu odpadní vody, stavu vody ve vodním toku a také, i když méně, na rozdílu měrných hmotností obou druhů vod.

V rámci této práce se proto navrhuje zpřesnit parametr  $m$  podle toho, do jaké vzdálenosti z celkové šířky toku vlečka znečištění v době měření zasahuje. Míra „vnoření“ vlečky do toku je vyjádřena v % šířky toku podle následující tabulky:

Tabulka 10 Navržená hodnota parametru  $m$  v závislosti na šířce vlečky znečištění v počátečním bodě úniku/vypouštění

	% celkové šířky toku									
šířka vlečky	<10	10–20	20–30	30–40	40–50	50–60	60–70	70–80	80–90	>90
hodnota $m$	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1	0,075	0,05	0,025

Určení parametru  $m$  je možné provést vizuálně, pokud je vlečka znečištění na hladině toku dobře znatelná, pokud ne nebo přesněji měřením konduktivity. Jako vhodné místo pro změření šířky vlečky znečištění pro určení hodnoty parametru  $m$  doporučuji vzdálenost od bodu úniku/vypouštění, která se rovná šířce toku (Příklad: šířka vlečky se odečte ve vzdálenosti 50 m od výpusti v případě toku širokého 50 m). Taková uzance je užitečná proto, že šířka vlečky se se vzdáleností od zdroje průběžně mění.

#### 4.5 Vyhodnocení výsledků rozsahu mísící zóny podle modifikovaného vztahu

Stejné charakteristiky lokalit (šířka, průměrná rychlost proudění a hloubka), které byly použity pro výpočet rozsahu mísící zóny podle vztahů (15 až 19), uvedené souhrnně v Příloze D, byly nyní použity pro výpočet délky mísící zóny modifikovaným Fischerovým vztahem (38). Výsledky byly porovnány s terénními měřeními a podrobeny analýze shody shodným postupem uvedeným v kapitole 4.2. Součinitel drsnosti  $n$  a parametr  $m$  byly určeny postupem dle kapitoly 4.4. Jednotlivé dílčí drsnosti  $n_0$  až  $n_4$  a parametry  $m_5$  a  $p_6$  jsou souhrnně uvedeny v Příloze F a také v elektronické Příloze II (na přiloženém CD). Srovnání délky mísící zóny vypočtené vztahem (38) s výsledky terénních měření uvádí

následující tabulka. Výsledky výpočtu lze natít také v elektronické Příloze I (parametr  $m$  vztahu (38) je zde označen jako  $m_2$ ).

Tabulka 11 Srovnání experimentálně naměřených dat rozsahu mísící zóny a hodnot jejich rozsahu vypočteného podle modifikovaného Fischerova vztahu (38)

Poř. č.	Název toku / lokalita	Č. měření	$m$	$n$	dMZ	dMZ	Poměr shody $dMZ_{(38)}/dMZ_{ep}$
					Experimentálně	Vztah (38)	
			-	-	m	m	-
1	Bečva (Deza)	1.	0,4	0,091	1860–2460	1056	0,57
		2.	0,4	0,110	690	788	1,14
2	Bezejmenný p. (přítok Žižkova p.)	1.	0,3	0,072	28	4	0,14
		2.	0,35	0,048	50	7	0,15
3	Bohumínská Stružka	1.	0,4	0,052	90	14	0,16
4	Hutní potok	1.	0,05	0,034	5	5	0,92
	Bílina	1.	0,35	0,024	750	425	0,57
5	Labe I (Hr. Králové)	1.	0,25	0,029	>1850	1343	-
		2.	0,25	0,029	>1000	1319	-
6	Labe II (Pardubice)	1.	0,25	0,034	2500	2824	1,13
		2.	0,25	0,034	1750	2766	1,58
7	Labe III (Ústí n. L.)	1.	0,3	0,049	20250	24394	1,20
		2.	0,4	0,038	16140	45273	2,81
8	Lučina (Mittal)	1.	0,025	0,047	160	30	0,19
		2.	0,025	0,072	180	17	0,09
		3.	0,025	0,063	110	21	0,19
9	Morávka (Žižkův p.)	1.	0,35	0,110	250	566	2,26
		2.	0,4	0,091	400	788	1,97
10	Odra	1.	0,3	0,029	3100	2683	0,87
		2.	0,3	0,029	2820	2118	0,75
11a	Olše KČOV1	1.	0,4	0,099	480	1418	2,95
		2.	0,35	0,103	410	1130	2,76
11b	Olše KČOV2	1.	0,4	0,080	700	2113	3,02
		2.	0,4	0,084	280	2055	7,34
12	Opava	1.	0,35	0,028	1150	705	0,61
		2.	0,3	0,050	820	199	0,24
13	Opusta	1.	0,3	0,053	40	11	0,27
		2.	0,3	0,048	30	14	0,46
15	Ostravice I (F. Místek)	1.	0,3	0,078	2970	982	0,33
		2.	0,3	0,063	2334	1385	0,59
		3.	0,25	0,085	1800	759	0,42



Poř. č.	Název toku / lokalita	Č. měření	$m$	$n$	dMZ	dMZ	Poměr shody $dMZ_{(38)}/dMZ_{ep}$
					Experimentálně	Vztah (38)	
			-	-	m	m	
17	Ostravice III (Jeremenko)	1.	0,3	0,068	5600	1373	0,25
		2.	0,3	0,063	4730	1492	0,32
		3.	0,3	0,053	4000	1864	0,47
18	Petřkovická Stružka	1.	0,3	0,048	235	55	0,24
		2.	0,4	0,072	40	24	0,61
19	Ploučnice	1.	0,3	0,035	600	148	0,25
20	Podhořský potok	1.	0,35	0,045	15	7	0,50
21b	Svitava (ČOV Skrchov)	1.	0,4	0,093	40	197	4,93
22a	Zdobnice ESAB V1, K1	1.	0,4	0,061	310	584	1,88
		2.	0,4	0,061	315	606	1,92
22b	Zdobnice ESAB V2	1.	0,4	0,078	740	756	1,02
		2.	0,4	0,078	340	923	2,71
22c	Zdobnice ESAB V3	1.	0,4	0,067	250	308	1,23
		2.	0,4	0,067	92	330	3,59
23	Zdobnice II (ČOV Vamberk)	1.	0,4	0,061	200	339	1,69
		2.	0,4	0,061	140	363	2,59

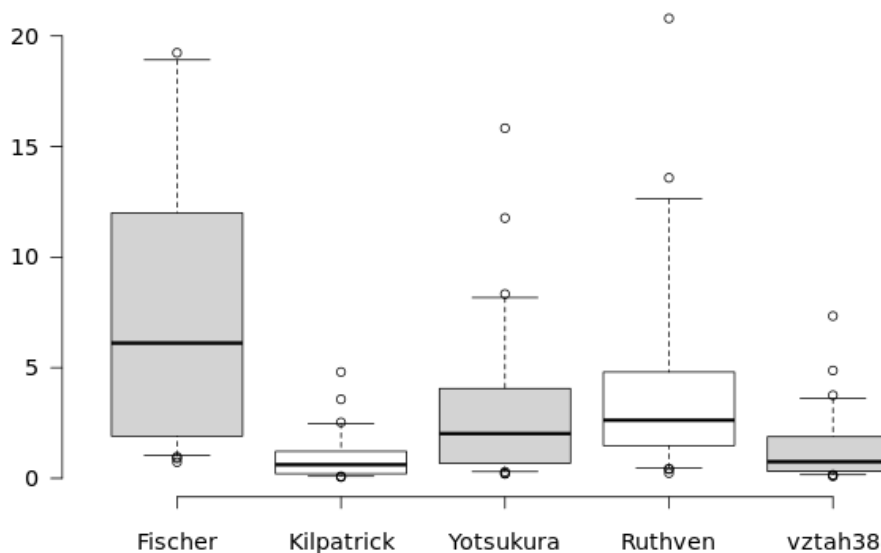
Z výsledků je patrné, že ve šterkonosných tocích s převládající makrodrsností a bystřinným prouděním (např. Morávka, Olše) je vypočtený rozsah mísící zóny značně delší. Naopak v tocích s rovnoměrným ustáleným prouděním (Labe, Odra) jsou výsledky shody uspokojivé. Porovnáním výsledků shody v Tabulce 12 s ostatními autory (Tabulka 5 v kapitole 4.2), zjistíme, že modifikovaný Fischerův vztah (38), jehož účelem byla snaha o zpřesnění některých parametrů dříve testovaných vztahů (15–19) a tím zpřesnění predikce rozsahu mísící zóny, je co do počtu měření v intervalu shody nejvyšší.

Tabulka 12 Vyhodnocení shody experimentálně naměřených dat rozsahu mísící zóny a hodnot jejich rozsahu vypočtených podle modifikovaného vztahu (38)

Kritéria shody	Počet měření	Počet bodů	Průměrná shoda
0,9–1,2	5	10	1,33
0,5–0,89	7	8	
1,21–2,0	7	6	
<b>Celkem</b>	<b>19</b>	<b>24</b>	

Průměrná míra shody všech měření (celkem 45) je po vztahu Kilpatricka (0,90) druhá nejlepší (1,33). Nicméně stále platí, že všechny testované vztahy (15–19) a (38) i odhad součinitele drsnosti  $n$  Cowanovou metodou nejsou schopny postihnout všechny faktory ovlivňující mísení v tocích. Výsledky ale poskytují základní informaci o tom, zda mísící zóna bude v řádu desítek nebo stovek metrů či jednotek kilometrů. Přitom je třeba mít na paměti, že ve výpočtech máme na mysli mísící zónu z hydrodynamického hlediska. Z hlediska vodní politiky v procesu vymezování mísících zón jsou přijímány regulativy, které určují jejich maximální možný rozsah (Kapitola 5).

Porovnání výsledků vypočteného rozsahu mísící zóny podle vztahů (15-19) a navrženého vztahu (38) s terénními měřeními jsou zobrazeny také graficky na Obr. 47. Statistické hodnoty porovnání míry shody jsou uvedeny v Tabulce 13. Záměrně chybí vztah navržený Sandersem, jehož výsledky jsou natolik odlehlé, že ostatní boxplot diagramy by ztratily svou vypovídací hodnotu. Místo průměru je v diagramech zobrazena hodnota mediánu, který lépe než průměr charakterizuje míru shody. Ta je nejvyšší, pokud se blíží hodnotě 1. Nejtěsnější výsledek je, jak již bylo uvedeno v předcházejícím textu, vztah (38), který modifikuje vztah Fischerův.



Obr. 47 Diagramy vyjadřující míru shody vypočteného rozsahu mísící zóny s experimentálním zjištěním v terénu; statistické hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 13. Hodnoty mimo zvolené statistické charakteristiky jsou zobrazeny bodově.

Tabulka 13 Poměr shody experimentálně naměřených dat rozsahu mísící zóny a hodnot jejich rozsahu vypočtených podle vybraných autorů a modifikovaného vztahu (38)

Statistický parametr	Vztah pro výpočet $d_{MZ}$				
	Fischer	Kilpatrick	Yotsukuraa	Ruthven	vztah 38
percentil $P_{95}$	18,92	2,48	8,17	12,63	3,61
3. kvartil	12,00	1,22	4,06	4,81	1,88
<b>medián</b>	<b>6,11</b>	<b>0,61</b>	<b>2,02</b>	<b>2,63</b>	<b>0,75</b>
1. kvartil	1,91	0,21	0,68	1,48	0,32
percentil $P_5$	1,03	0,09	0,30	0,46	0,16
počet hodnocených lokalit	45	45	45	45	45

Diagram byl vytvořen pomocí statistického programu BoxPlotR, který je volně přístupný na internetu [47].

## 5. Vývoj metodického postupu pro určení rozsahu mísící zóny

### 5.1 Úvod

Na experimentálně ověřený rozsah mísících zón na tocích České republiky navázala příprava metodického postupu pro jejich vymezování, který je určen pro specifickou skupinu uživatelů, především správců plovodů. Možnost pro vymezení mísících zón je zakotvena v Evropské legislativě, konkrétně v § 4 směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/105/ES [2], která byla transponována do § 6 vyhlášky č. 98/2011 Sb. [23]. Právní rámec problematiky je podrobněji rozveden v kapitole 3.5. Metodický postup se má týkat prioritních látek a některých dalších znečišťujících látek, které jsou definovány výše uvedenou směrnicí, ale obecně může být využit pro libovolnou znečišťující látku, která je rozpustná ve vodě nebo má schopnost se vázat ve vodě na pevné částice (perzistentní látky) a je vypouštěna do povrchového toku. Naopak není relevantní pro ropné látky, jejichž chování vlivem jejich fyzikálních vlastností má zcela odlišný charakter (látky se s vodou nemísí a vznášejí se na hladině). Metodika je dále relevantní pro povrchové toky a nikoli pro mísení ve stojatých vodách nebo v nádržích.

Důležité je také vyjasnit pojem "mísící zóna" ve vztahu k výše uvedeným právním předpisům. Doposud bylo v této práci pojednáno o mísící zóně z hydrodynamického hlediska. Výpočty v kapitole 4 využívají vztahy, v nichž není zastoupena koncentrace znečišťující látky. Ve vztahu k legislativě je však třeba uvažovat takovou oblast mísení, kde jsou nebo mohou být překračovány normy environmentální kvality (NEK) nebo případně hodnoty přípustného znečištění povrchových vod (pozn.: v procesu přípravy směrnice 2008/105/ES se původně používal termín "přechodné oblasti překračování NEK").

Posledním ze zavedených termínů je tzv. regulační mísící zóna, která znamená oficiálně stanovený rozsah mísící zóny kompetentním orgánem státní správy. Tento termín bylo důležité zavést z toho důvodu, že rozsah mísící zóny může být v jedné lokalitě určen pro více znečišťujících látek a více průtokových a koncentračních charakteristik, dále s ohledem na oblasti, které vyžadují ve vodním prostředí zvláštní ochranu, a v neposlední

řadě pro legislativně určený maximálně možný rozsah mísící zóny. Podrobněji o tom bude pojednáno v dalším textu.

Vyvinutá metodika také reflektuje zásady, které vydala Evropská komise v dokumentu "Technické pokyny pro identifikaci mísících zón podle Čl. 4 odst. 4 směrnice 2008/105/ES" [48].

## *5.2 Přijatelnost vymezení regulační mísící zóny a jejího rozsahu*

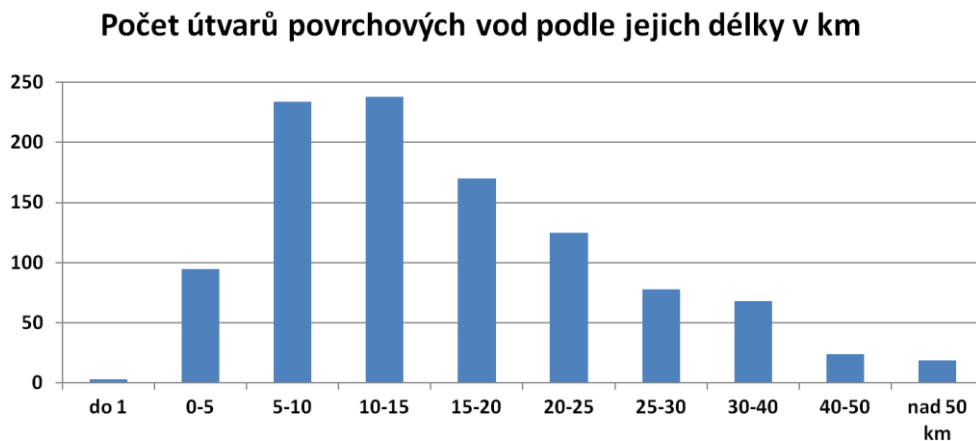
Dokument [48] definuje mísící zónu vymezenou příslušným orgánem jako oblast přilehlou k místu vypouštění, ve které koncentrace jedné nebo více předmětných kontaminujících látek může překračovat příslušnou NEK, pokud neovlivní dodržení NEK ve zbývající části daného útvaru povrchových vod. Dodržování norem environmentální kvality je tedy hlavním činitelem při rozhodování o vhodných režimech pro čištění a vypouštění průmyslových nebo splaškových odpadních vod. Při posuzování přijatelnosti navrhované mísící zóny musí příslušný orgán zvážit dodržování NEK v měřítku daného vodního útvaru a zároveň vzít v úvahu všechny specifické problémy, jako je ochrana zdrojů pitné vody, koupacích oblastí, ochrana trdlišť rybích společenstev, apod.

Klíčové otázky, které je potřeba při posuzování přijatelnosti zvážit:

1. Úměrnost rozsahu mísící zóny – její délka má podle doporučení Evropské komise činit maximálně 10 % délky útvaru povrchových vod.
2. Míru překročení NEK ve vypouštěné odpadní vodě – je potřeba vzít v úvahu proměnlivost v rozložení koncentrací a průtoků, k nimž může v praxi dojít.
3. Dosažení dobrého chemického stavu – mísící zóna se vymezuje především v těch případech, kdy vypouštění může zabránit dosažení dobrého chemického stavu v reprezentativním profilu daného útvaru povrchových vod.
4. Identifikace citlivých receptorů, které mohou být zasaženy vypouštěním – jejich prostorové a časové rozložení v místě potenciálně dotčeném vypouštěním a vymezenou mísící zónou (pozn.: citlivým receptorem může být jakýkoliv vodní organismus libovolné trofické úrovně).

5. Zda nejsou v daném útvaru povrchových vod uplatňovány výjimky z environmentálních cílů podle § 23a odst. 6 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách, v platném znění.
6. Zda se v oblasti dotčené vypouštěním nebo dále po proudu vyskytují chráněná území – místa odběrů povrchových vod určených pro úpravu na vodu pitnou, povrchové vody užívané ke koupání osob stanovené seznamem MŽP nebo povrchové vody vhodné pro život a reprodukci druhů ryb a dalších vodních živočichů (stanovené nařízením vlády č. 71/2003 Sb. [49]).
7. Zda se v reprezentativním místě hodnocení stavu říčního sedimentu v daném útvaru povrchových vod koncentrace prioritních látek uvedených v Příloze č. 6 k nařízení vlády č. 61/2003 Sb., v platném znění [50], uvedenými pod čísly 2, 5, 6, 7, 12, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 26, 28 a 30 výrazně v čase nezvyšuje.
8. Koncentrace posuzovaných látek ve vodním prostředí v důsledku jiných antropogenních zdrojů lokalizovaných směrem proti proudu. V případě kovů je možno zohlednit jejich přirozené pozadí.
9. Realizovaná nebo plánovaná opatření k dosažení dobrého chemického stavu vod a dobrého ekologického stavu vod specifikovaná podle § 23 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách, v platném znění, ve schválených aktuálních plánech dílčích povodí, národních plánech povodí, mezinárodních plánech povodí.
10. V případě detailnějšího posouzení je možno vzít v úvahu fyzikálně-chemické vlastnosti vypouštěné znečišťující látky (např. biologickou odbouratelnost, perzistentnost, schopnost bioakumulace, těkavost, aj.).

V ČR je vymezeno přes tisíc útvarů povrchových vod (ÚPV), jejichž průměrná délka činí 16,6 km/1 útvar (medián 13,7 km, 90% percentil 30,6 km). Velké množství útvarů (33 %) je kratších než 10 km; v těchto případech jsme omezili možný rozsah mísící zóny na max. 1 000 m (není nutné dodržet podmínku max. rozsahu 10 % délky útvaru povrchových vod). Délka útvaru se určuje podle délky jeho páteřního toku. Podrobnější rozložení ÚPV je uvedeno na Obr. 48.



Obr. 48 Počet útvarů povrchových vod podle jejich celkové délky páteřního toku

Obecně je potřeba aplikovat přístup předběžné opatrnosti. To však neznamená posuzovat rozsah mísící zóny na základě sčítání nejpesimističtějších předpokladů.

### 5.3 Víceúrovňové posouzení významnosti zdrojů znečištění

Vzhledem k velké variabilitě možných případů je účelné rozhodovací proces a případné vymezení mísící zóny realizovat v několika úrovních. Jiná může být situace vypouštění nebo úniku znečišťující látky do toků vyššího řádu a odlišná v případě málo vodných drobných toků, kde i malé množství vypouštěného znečištění může znamenat významné negativní ovlivnění. Cílem je na každé úrovni rozhodovacího procesu odhalit ta vypouštění, která nezavdávají příčinu k obavám, a také zdůraznit vypouštění, jež vyžadují vymezení mísící zóny nebo opatření ke snížení jejich rozsahu. Jednotlivé úrovně lze charakterizovat takto:

<b>Úroveň 0</b>	Výskyt vypouštění a překročení NEK
<b>Úroveň 1</b>	Počáteční prověřování
<b>Úroveň 2</b>	Jednoduchý odhad
<b>Úroveň 3</b>	Podrobné posouzení
<b>Úroveň 4</b>	Průzkumná studie / Validace modelů

Víceúrovňový přístup doporučený Evropskou komisí je výhodný v tom, že odfiltruje nevýznamné zdroje a optimalizuje posouzení podle konkrétních podmínek a významnosti dopadu na vodní prostředí.

### 5.3.1 Úroveň 0 – Výskyt vypouštění a překročení NEK

Úroveň 0 je určena k odhalení výskytu vypouštění do útvaru povrchových vod, které může vést k překročení norem environmentální kvality. Má dvě fáze:

1. Provedení kontroly, zda vypouštění obsahuje nebo může obsahovat předmětnou znečišťující látku (dále PZL).
2. Posouzení, zda koncentrace překračuje nebo může překročit hodnotu/y NEK.

Ad 1)

Je potřeba využít znalost procesu nebo okolností vypouštění. Jednoznačná a průkazná je skutečnost, kdy vypouštění PZL odpadními vodami je povoleno vodoprávním úřadem s tím, že povolení specifikuje koncentrační a bilanční limitní hodnoty nebo nařizuje PZL v odpadních vodách monitorovat. V takovém případě znečišťovatel provádí vlastní měření PZL se stanovenou četností vzorkování v definovaném místě odběru.

V ostatních případech je potřeba posoudit, zda se PZL ve vypouštěných odpadních vodách může vyskytovat na základě znalostí:

- o používání nebo vzniku PZL ve výrobní činnosti znečišťovatele,
- o používání nebo vzniku PZL ve výrobní činnosti jiného subjektu napojeného na kanalizaci posuzovaného znečišťovatele,
- o zvýšené koncentraci PZL v reprezentativním profilu pro hodnocení chemického stavu vod v daném útvaru povrchových vod a existuje podezření, že zdroje znečištění nad profilem mohou k překračování NEK přispívat,
- o jiných možných antropogenních vlivech nebo úrovni přirozeného pozadí.

V případech, kdy není PZL v odpadních vodách znečišťovatelem monitorována, je účelový monitoring vyžadován pouze v případech, kdy se má na základě předchozího posouzení důvodně za to, že PZL může být ve vypouštěných odpadních vodách přítomna



v koncentracích blízkých nebo vyšších než NEK a zároveň předmětné vypouštění může přispívat k nedosahování dobrého chemického stavu vod daného útvaru povrchových vod.

Pokud posuzovaný subjekt nevnáší žádnou dodatečnou zátěž v podobě PZL do odebrané vody, není posouzení vymezení mísící zóny vyžadováno (např. jednorůchodné chladicí systémy, kdy odběr i vypouštění existují v rámci stejného útvaru povrchových vod).

Ad2)

V dalším kroku je potřeba posoudit, zda koncentrace PZL v odpadní vodě překračuje nebo může překračovat NEK, která je stanovena jako celoroční průměrná hodnota (NEK-RP) a u některých látek také jako nejvyšší přípustná hodnota (NEK-NPH).

#### Posouzení vzhledem k NEK-RP

Posouzení se povede:

- A. na přípustnou hodnotu „p“, která je pro PZL uvedena v platném vodoprávním rozhodnutí pro vypouštění odpadních vod

Pokud platí:  $p_{PZL} > NEK-RP_{PZL}$  vztah (39)

je potřeba pokračovat v posouzení vymezení mísící zóny na úrovni 1. V opačném případě je další posuzování ukončeno.

- B. není-li přípustná hodnota „p“ určena nebo je vhodné při posouzení vycházet z reálně dosahovaného (monitorovaného) znečištění, vypočte se koncentrace, která není překročena v 90 % případů (percentil P90).

Pokud platí:  $P90_{PZL} > NEK-RP_{PZL}$  vztah (40)

je potřeba pokračovat v posouzení vymezení mísící zóny na úrovni 1. V opačném případě je další posuzování ukončeno. Hodnota  $P90_{PZL}$  s přípustnou hodnotou "p" koresponduje (hodnota "p" značí přípustný počet nevyhovujících vzorků v závislosti na celkovém počtu vzorků podle Přílohy č. 5 k nařízení vlády č. 61/2003 Sb., v platném znění [50], a pohybuje se v intervalu percentilu 0,75 až 0,93).

Pro posouzení je potřeba vzít dostatečný soubor výsledků měření PZL. Tím se rozumí alespoň 4 výsledky měření za předchozí období. Od četnosti vzorkování odpadních vod znečišťovatelem a měření PZL se odvíjí délka rozhodného období pro posouzení na úrovni 0 takto:

Tabulka 14 Kritéria pro dostatečný soubor výsledků měření jakosti odpadních vod

Četnost měření PZL v kalendářním roce	Délka rozhodného období
$\geq 4$ x	předchozí kalendářní rok
2 x	předchozí dva kalendářní roky
1 x	předchozí čtyři kalendářní roky

Výše navržené opatření má zabránit tomu, aby se posuzování nezakládalo na jedné nebo dvou naměřených hodnotách znečištění. Nicméně v případě významných znečišťovatelů (např. chemických provozů) selfmonitoring odpadních vod probíhá s dostatečnou četností vzorkování. Kompetentní úřad může délku rozhodného období stanovit odlišně, pokud je zjevné, že během této doby došlo k významné změně okolností, které by mohly vést ke změně koncentrace PZL ve vypouštěných odpadních vodách (např. změnou technologického procesu, vstupních surovin, kapacity výroby, rekonstrukce ČOV, apod.).

Při výpočtu  $P90_{PZL}$  je dále potřeba zvolit jednotný přístup k výsledkům, které se nacházejí pod mezí stanovitelnosti. To platí především pro ty znečišťující látky, které se v odpadních vodách vyskytují ve velmi malém množství, které je však významné vzhledem k urovňm NEK. (Pozn.: Některé normy environmentální kvality jsou natolik přísné, že jsou rovnocenné nebo i nižší než meze stanovitelnosti (MS) dosahované nejlepšími dostupnými laboratorními technikami).

Tento paradox je dán tím, že odvození NEK podle přílohy V směrnice 2000/60/ES [1] a také přílohy 11 vyhlášky č. 98/2011 Sb. [23] vychází z dostupných ekotoxikologických dat pro několik trofických úrovní vodních organismů (ryby, bezobratlí, řasy). Výsledek pro nejcitlivější organismus se dělí bezpečnostním faktorem, jehož výše závisí na kompletnosti a druhu posuzovaných ekotoxikologických dat.

Všechny výsledky měření PZL vstupující do výpočtu vyskytující se pod MS se dělí 2. I v případě, že všechny výsledky měření se nacházejí pod MS a zároveň platí, že  $\frac{1}{2} MS >$

NEK-RP, je potřeba z hlediska předběžné opatrnosti posuzovat vypouštění jako překračující NEK a má-li se důvodně za to, že PZL může být ve vypouštěných odpadních vodách přítomna, pokračovat v posouzení vymezení mísící zóny na úrovni 1. V takovém případě se doporučuje ověřit přítomnost PZL vhodnější (citlivější) analytickou metodou, pokud je taková metoda běžně dostupná. K látkám, které mají NEK-RP nižší než je dosahovaná mez stanovitelnosti, náleží např. benzo(a)pyren, sloučeniny tributylcínu, PFOS a heptachlor s heptachlorepoxydem. Pouze v případě, že jedna hodnota NEK je stanovena pro sumu látek nebo sumu izomerů PZL, hodnoty pod MS se nahradí hodnotou „0“ (např. v případě trichlorbenzenů).

#### Postup v případě kadmia:

Hodnoty NEK-RP a NEK-NPH jsou stanoveny v závislosti na třídách tvrdosti vody, vyjádřené jako  $\text{CaCO}_3$  (Příloha A). Pro posouzení podle vztahu (39) nebo (40) se vybere taková NEK, která odpovídá roční průměrné celkové tvrdosti povrchové vody v nejbližším reprezentativním nebo vloženém říčním profilu daného útvaru povrchových vod.

Průměrná celková tvrdost vody se vypočítává z koncentrace vápníku a hořčíku. Výpočet celkové tvrdosti vody vyjádřené jako  $\text{CaCO}_3$  je následující:

$$\text{tvrdost } [\text{mmol.l}^{-1}] = A1/40,08 + A2/24,305 \quad \text{vztah (41)}$$

kde je:

A1 koncentrace vápníku v  $\text{mg.l}^{-1}$

A2 koncentrace hořčíku v  $\text{mg.l}^{-1}$

Přepočet tvrdosti v mmol na mg  $\text{CaCO}_3$  je:

$$\text{tvrdost } [\text{mmol.l}^{-1}] \times 100 = \text{tvrdost } [\text{mg.l}^{-1}] \text{ CaCO}_3 \quad \text{vztah (42)}$$

Poznámka: Zohlednění tvrdosti vody pro stanovení NEK je realizováno z důvodu biodostupnosti kovů pro vodní organismy; se vzrůstající tvrdostí se biodostupnost snižuje, proto je možné volit méně přísné NEK u vod s vyšší tvrdostí. To platí i pro některé další kovy, ale legislativně je to takto upraveno pouze pro kadmium.

#### Postup v případě chlorovaných organických látek:

V některých případech může být ve vypouštěných odpadních vodách místo konkrétní látky monitorován její obsah pouze pomocí směsného ukazatele AOX (adsorbovatelné chlorované organické látky). V takovém případě se pro posouzení podle vztahu (39) nebo (40) použijte ukazatel AOX, i když správnější je použití koncentrace konkrétní znečišťující látky. Z prioritních látek podle směrnice 2000/60/ES se to týká především látek: dichlormethan, chloroform (trichlormethan), tetrachlormethan, trichlorethen, tetrachlorethen (perchlorethylen), dichlorbenzeny, hexachlorbenzen, hexachlorbutadien.

Výše uvedený postup je možno uplatnit pouze v případě, že v daném konkrétním případě se na vypouštění AOX v odpadní vodě nepodílí žádný další významný zdroj jinými chlorovanými organickými látkami, než těmi, které jsou uvedeny výše. Pro výpočet je možno odečíst míru znečištění AOX z odebrané povrchové vody.

Příklad: V průmyslovém objektu se v technologickém procesu prokazatelně používá tetrachlorethen (perchlorethylen) k odmašťování kovů. Ve vypouštěných odpadních vodách se nesleduje PCE, ale ukazatel AOX.

Poznámka: Nařízení vlády 61/2003 Sb., v platném znění [50], v Příloze č. 1, část C (Tabulka 3, druh výroby 13.6) u vybraných výrob s vypouštěním tetrachlorethenu v množství do 30 kg za rok umožňuje sledování pouze parametru AOX místo tetrachlorethenu. Obdobná možnost existuje i u některých dalších chlorovaných uhlovodíků.

#### Posouzení vzhledem k NEK-NPH:

Pokud alespoň jeden z výsledků měření za hodnocené období překročí NEK-NPH (nejvyšší přípustnou hodnotu), je třeba pokračovat v posouzení vymezení mísící zóny na úrovni 1.

Poznámka: Hodnota NEK-NPH je nařízením vlády č. 61/2003 Sb., v platném znění, stanovena jen pro některé PZL.

### 5.3.2 Úroveň 1 – Počáteční prověřování

Úroveň 1 – počáteční prověřování slouží k tomu, aby se zjednodušeným postupem dalo určit, která vypouštění prošla hodnocením na úrovni 0, jsou významná, či nikoliv. Provádí se bez nutnosti podrobně hodnotit rozsah překročení NEK v prostoru a čase. Na pomoc při tomto posuzování byla Evropskou komisí (EK) vypracována matice, která stanoví kritéria významnosti podle velikosti toků. Princip testu významnosti vychází z porovnání přírůstku znečištění k předemné normě environmentální kvality (NEK-RP).

#### Krok 1- přírůstek znečištění

Přírůstek znečištění PZ [ $\mu\text{g.l}^{-1}$ ] je definován jako:

$$PZ = \frac{Q_{ov} * C_{ov}}{Q_{ov} + Q_r} \quad \text{vztah (43)}$$

kde je:

$Q_{ov}$  průtok odpadní vody [ $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ ]

$C_{ov}$  koncentrace PZL v odpadní vodě [ $\mu\text{g.l}^{-1}$ ]

$Q_r$  průtok v recipientu [ $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ ]

Za průtok odpadní vody  $Q_{ov}$  se bere střední průtok v době vypouštění ve stanoveném časovém období. U kontinuálního vypouštění je možno vzít průměrný roční průtok, nebo pokud dochází během roku k významné změně průtoku (např. kampaňovitá výroba), jiné vhodné charakteristické období. V případě diskontinuálního vypouštění (např. z neutralizační stanice) se bere obvyklý střední průtok odpadní vody během doby vypouštění (v případě, že průtok není měřen, lze střední průtok odhadnout z doby vypouštění a celkového objemu vypuštěných odpadních vod).

Za koncentraci  $C_{ov}$  PZL se bere průměrná roční koncentrace. Kompetentní orgán by měl v opodstatněných případech zvážit použití jiných charakteristik nebo zvoleného období (zvl. sezónní vypouštění, významná změna procesu výroby nebo způsobu čištění odpadních vod, apod.). Přístup k hodnotám pod mezí stanovitelnosti (pod MS) je shodný jako v předchozí úrovni posuzování: hodnoty pod MS se nahradí hodnotou  $\frac{1}{2}$  MS. Pouze

v případě, že NEK je stanovena pro sumu látek nebo sumu izomerů jedné PZL, hodnoty pod MS se nahradí hodnotou „0“ (např. v případě trichlorbenzenů).

Za průtok  $Q_r$  se dosadí průtok, který je dosahován po 90 % času roku, tj. m-denní průtok  $Q_{330}$  z hydrologické řady 1980–2010 v místě vypouštění nebo v nejbližším vhodném měrném profilu provozovaném Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ) nebo příslušným správcem povodí. Seznam vodoměrných stanic ČHMÚ s aktuálním měřením, je dostupný na adrese [51]. Souhrnné hydrologické údaje včetně m-denních průtoků pro vybrané profily říční sítě jsou většinou také součástí Plánů dílčích povodí, v části „Hydrologické údaje“. Tyto plány (v současnosti již pro 2. plánovací období) jsou on-line dostupné na stránkách příslušných správců povodí ([www.pla.cz](http://www.pla.cz); [www.poh.cz](http://www.poh.cz); [www.pvl.cz](http://www.pvl.cz); [www.pod.cz](http://www.pod.cz); [www.pmo.cz](http://www.pmo.cz)).

Pokud se mezi místem vypouštění a nejbližším vhodným měrným profilem předpokládá difference průtoků  $Q_{330}$  větší než 30 % nebo neexistuje žádný vhodný měrný profil v oblasti a nelze požadovaný průtok v místě vypouštění kvalifikovaně odhadnout, je potřeba požádat o výpočet m-denních průtoků příslušné pracoviště ČHMÚ přímo k místu vypouštění za úplatu. Difference průtoků mezi měrným profilem a místem vypouštění může být způsobena významnými přítoky, mnohačetnými menšími přítoky, převody vody nebo významnou změnou plochy odvodňovaného území.

#### Krok 2 - porovnání přírůstku znečištění s NEK

V následujícím kroku se porovná přírůstek znečištění PZ [ $\mu\text{g.l}^{-1}$ ] předmětné znečišťující látky s NEK-RP [ $\mu\text{g.l}^{-1}$ ] (roční průměr) v %. Kritéria významnosti zdroje znečištění daná přírůstkem znečištění, jak je navrhla Evropská komise v [48], jsou do metodiky pro vymezování mísicích zón v ČR převzata 1 : 1 a jsou uvedena v Tabulce 15.

Pokud je přírůstek znečištění v % NEK-RP vyšší, než udává tabulka, není možné vypouštěné znečištění považovat za bezvýznamné a je nutné posoudit vymezení mísicí zóny na úrovni 2.

Posouzení za úrovně 1 je pouze orientační. Kompetentní úřad může v opodstatněných případech zvážit souhrnné vlivy vypouštění (zvláště, pokud se citlivý receptor vyskytuje v oblasti toku, kde ještě nedochází k úplnému smísení povrchové a odpadní vody) a

rozhodnout o zkoušce na úrovni 2 kdykoliv. Posouzení na úrovni 2 může být opodstatněné také v případě, že koncentrace PZL nad místem vypouštění je blízké NEK-RP.

Tabulka 15 Kritéria pro posouzení významnosti zdroje znečištění povrchových vod

Typ a velikost recipientu	Průtok $Q_{330}$ v recipientu [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]	Přípustný přírůstek znečištění [% NEK-RP]
<b>Řeky</b>		
Malý	$\leq 100$	4
Střední	$< 100$ a zároveň $\leq 300$	1
Velký	$< 300$	0,5
<b>Kanály</b>		
Malý	$\leq 10$	6
Střední	$< 10$ a zároveň $\leq 40$	2,5
Velký	$< 40$	1

Řeky v České republice spadají z 99 % do kategorie "malý" tok, pouze dolní úsek Labe od ústí Ohře po státní hranici s Německem může spadat do kategorie "střední" tok. Kanálem je koryto vodního toku, které bylo vytvořeno uměle. Kanály, do kterých by mohly být zaústěny zdroje znečištění, jsou vzhledem k charakteru krajiny ČR jen málo rozšířené, často se jedná o převody vody mezi povodími nebo náhony. Pokud se v posuzovaném úseku vyskytují oba typy koryt, zařazení se provede podle převládajícího typu.

#### Český imisní test – Úroveň 1

Pro prověřování významnosti zdroje znečištění na úrovni 1 byl vyvinut software „Český imisní test – Úroveň 1“. Umožňuje určit významnost posuzovaného bodového vypouštění odpadních vod z hlediska následné potřeby vymezení mísící zóny podle kritérií uvedených v Tabulce 15. Tento software nebyl vyvinut autorem této disertační práce, ale s jeho tvůrcem úzce spolupracoval. Vstup do programu může být chráněn heslem. Poté je potřeba povolit použití makra.

Program obsahuje dvě základní obrazovky: „Základní identifikační údaje“ o posuzovaném subjektu a „Test přírůstku znečištění“ (Obr. 49).

Přepínání mezi jednotlivými možnostmi programu a obrazovkami se děje pomocí zelených interaktivních tlačítek. Zápis je možný do bílých nebo žlutých polí. Test umožňuje posoudit nejen průměrnou koncentraci PZL, ale i 90% percentil a maximální dosahovanou koncentraci. Na základě místních podmínek se pak může kompetentní orgán rozhodnout pro posouzení vymezení mísící zóny na úrovni 2 i v případech, kdy na základě průměrné koncentrace PZL není potřeba mísící zónu vymezit. Na překročení přípustného přírůstku znečištění PZL je upozorněno hlášením: „Vymezení regulační mísící zóny je nutné“. Výběr PZL je umožněn z vedlejšího interaktivního okna (v případě prioritních látek) nebo pro ostatní znečišťující látky jejich ručním zápisem.

Pokud subjekt vypouští odpadní vody do recipientu větším počtem výpustí, program vždy posuzuje každou výpust individuálně.

Úvodní list		Základní identifikační údaje		Referenční období:						
<b>2. ÚROVEŇ 1 - Test přírůstku znečištění</b>										
2.1.	Množství vypouštěných odpadních vod podle VHR ze zdroje	150,0 l/s	=	0,150 m³/s	max.					
	ČOV Testované společnosti	4665,6 tis.m³/rok	=	0,148 m³/s	roční					
		389 m³/měsíc	=	0,000 m³/s	měsíční					
2.2.	Charakteristická hodnota množství vypouštěné odpadní vody pro test	0,150 m³/s								
2.3.	Charakteristická hodnota průtoku (Q330) v profilu	Odra		5,700 m³/s	2011					
2.4.	Výpočtová tabulka pro malý přirozený tok									
Č.	Název látky	C <sub>prům</sub>	P <sub>90</sub>	C <sub>max</sub>	NEK_RP	Jednotky	Δ C <sub>prům</sub>	Δ P <sub>90</sub>	Δ C <sub>max</sub>	Δ C <sub>mezni</sub>
1	anthracen	0,02			0,1	ug/l	0,5	0,0	0,0	4
2	rtuť a její sloučeniny	0,9			0,05	ug/l	46,2	0,0	0,0	4 !!!
3										4
4										4
5										4
6										4
7										4
8										4
9										4
10										4
11										4
12										4
13	cokoliv 1					ug/l				4
14	Konduktivita					uS/cm				4
15	cokoliv					jakékoliv				4
Výběr ukazatelů z databáze		Výběr z vložené databáze je umožněn do řádků 1 až 12 tabulky.								
Do řádků 13 až 15 tabulky můžete do bílých a žlutých políček doplnit údaje, týkající se dalších ukazatelů, které nejsou v databázi.										
Doplnění dalších ukazatelů		Vymezení délky regulační mísící zóny je nutné!								

Obr. 49 Hlavní obrazovka programu CIT – Úroveň 1 – test významnosti zdroje znečištění

Podrobný návod na použití programu je uveden v příloze č. 3 zpracované metodiky. Program CIT Úroveň 1 je součástí elektronické přílohy této práce na CD v Příloze IV ke kapitole 6.3 – příklady vymezení mísící zóny na vybraných příkladech.



### 5.3.3 Úroveň 2 – Jednoduchý odhad

V případě, že z posouzení na úrovni 1 vyplývá nutnost vymezit mísící zónu, je potřeba na úrovni 2 provést počáteční orientační odhad rozsahu překračování norem environmentální kvality v recipientu. Mísící zóna se vymezí pro všechny PZL, pro které tato potřeba vyplynula z předchozí úrovně 1. Vypočte se pomocí navazujícího SW nástroje: Českého imisního testu – Úroveň 2 a 3. Ten pro výpočet používá vztah (32), který umožňuje predikovat koncentraci PZL ve dvourozměrné soustavě, tj. v podélném a příčném směru úseku toku.

Také tento SW byl vyvinut mimo vlastní disertační práci jen s částečným přispěním autora této práce, ale s problematikou vymezování mísící zóny úzce souvisí a je proto účelné jej stručně zmínit.

#### Průtokové poměry

Za průtok odpadní vody  $Q_{ov}$  se bere střední průtok v době vypouštění ve stanoveném časovém období (shodně s předchozí úrovní posouzení). U kontinuálního vypouštění je možno vzít průměrný roční průtok, nebo pokud došlo během roku k významné změně průtoku (např. v souvislosti se změnou výrobní činnosti nebo způsobu nakládání s vodou), jiné charakteristické období. V případě diskontinuálního vypouštění (např. z neutralizační stanice) se bere obvyklý střední průtok odpadní vody během doby vypouštění.

Za průtok v recipientu  $Q_r$  se dosadí průtok, který je dosahován po 90 % času, tj.  $Q_{330}$  v místě vypouštění nebo v nejbližším vhodném měrném profilu provozovaném Českým hydrometeorologickým ústavem nebo příslušným správcem povodí (shodně s předchozí úrovní posouzení). Pokud se mezi místem vypouštění a nejbližším vhodným měrným profilem předpokládá difference průtoku  $Q_{330}$  větší než 30 % nebo neexistuje žádný vhodný měrný profil v oblasti, a nelze požadovaný průtok v místě vypouštění kvalifikovaně odhadnout, je potřeba požádat o výpočet m-denních průtoků Český hydrometeorologický ústav. (Pozn.: Přesné hydrologické charakteristiky jsou vyžadovány především při posuzování na úrovních 3 nebo 4.)

### Koncentrace

Posouzení se povede:

- A. na přípustnou hodnotu „p“, která je pro PZL uvedena v platném vodoprávním rozhodnutí pro vypouštění odpadních vod
- B. není-li přípustná hodnota „p“ určena nebo je-li vhodnější při posouzení vycházet z reálně dosahovaného znečištění, vypočte se koncentrace, která není překročena v 90 % případů (percentil P90) ze souborů hodnot, které byly použity při posuzování na předchozích úrovních. Pro výpočet se v případě kovů je vhodnější použít rozpuštěnou formu (filtrovaný vzorek), zpravidla je však v odpadních vodách monitorována pouze celková forma (nefiltrovaný vzorek).

Metodický přístup k hodnotám pod mezí stanovitelnosti, ke kadmiu (NEK v závislosti na tvrdosti vody) a k možné náhradě chlorovaných organických látek ukazatelem AOX je shodný s tím, který je uveden v kapitole 5.3.1.

Zdroj znečištění PZL není ve většině případů jediným v posuzovaném vodním útvaru nebo povodí. Nezřídka je posuzovaná látka přítomna v povrchové vodě nad místem výpočtu rozsahu mísicí zóny. Výpočet na úrovni 2 se proto provede pro případy, kdy:

1. koncentrace PZL v recipientu nad místem vypouštění se zanedbá ( $C_r = 0$ )
2. koncentraci PZL v recipientu nad místem vypouštění se zahrne do výpočtu

Ad 1)

Při výpočtu rozsahu mísicí zóny se nepočítá s koncentrací PZL v recipientu. Délka regulační mísicí zóny určená pomocí programu CIT – Úroveň 2 a 3 je dána úsekem toku od místa vypouštění odpadní vody do recipientu k místu, kde koncentrace odpadní a povrchové vody při vzájemném mísení dosáhne NEK-RP. Tímto se zjistí rozsah mísicí zóny výhradně na základě příčinku posuzovaného bodového zdroje znečištění.

Pozn.: Rozsah mísicí zóny nesmí překročit 10 % celkové délky vodního útvaru nebo 1 000 m u útvarů kratších než 10 km.

Ad 2)

Při výpočtu rozsahu mísící zóny se počítá s koncentrací PZL v recipientu nad místem vypouštění. Tu je možné zjistit z výsledků sledování jakosti povrchových vod realizovanou místně příslušným správcem povodí v nejbližším monitorovaném profilu proti proudu. Pro výpočet se použijí hodnoty získané za nejbližší možný kalendářní rok, ze kterých se vypočítá průměrná hodnota. Další postup je shodný s bodem 1.

Pozn.: V případě rtuti, kadmia, olova a niklu se pro výpočet použijí hodnoty pro rozpuštěnou formu, pokud jsou k dispozici.

### Český imisní test – Úroveň 2

Pro prověřování a vymezení mísící zóny na úrovni 2 a vyšší byl vyvinut software „Český imisní test – Úroveň 2,3“ (CIT – Úroveň 2,3). Program je určen pro obě úrovně, liší se pouze rozsahem nabídky. Na úrovni 2 umožňuje program určit rozsah mísící zóny včetně regulačního vymezení mísící zóny (regulační ve smyslu úředně stanovené délky mísící zóny) na základě pevně stanovených kritérií jednodušším postupem. Pokud subjekt vypouští odpadní vody do recipientu větším počtem výpusť, program vždy posuzuje každou výpusť individuálně.

Po zadání průtokových a koncentračních charakteristik platných pro úroveň 2 se může přistoupit k vlastnímu modelování rozsahu mísící zóny přechodem na další list „Úroveň 2 a 3 – Modelování mísící zóny“. Zde je nejdříve potřeba prokliknout zelené tlačítko „Úroveň 2“, které upravuje rozsah nabídky pro tuto úroveň testu.

Charakteristiky recipientu – do žlutých polí se zadávají následující hodnoty:

- průměrná hloubka recipientu – průměrná hloubka pod místem vypouštění, která je dosahována při testovaném průtoku  $Q_{330}$ . Je možno ji odečíst z konsumpční křivky pro posuzovaný úsek toku, je-li k dispozici (údaji disponují ČHMÚ a správci povodí v profilech s měřením průtoků); hloubku možno zjistit měřením v terénu při průtocích blízkých  $Q_{330}$ .
- průměrná šířka recipientu – průměrná šířka recipientu pod místem vypouštění. Je možné ji odečíst z leteckých snímků, přesněji z příčných řezů toku (údaji disponují správci povodí) při stanovené hloubce.

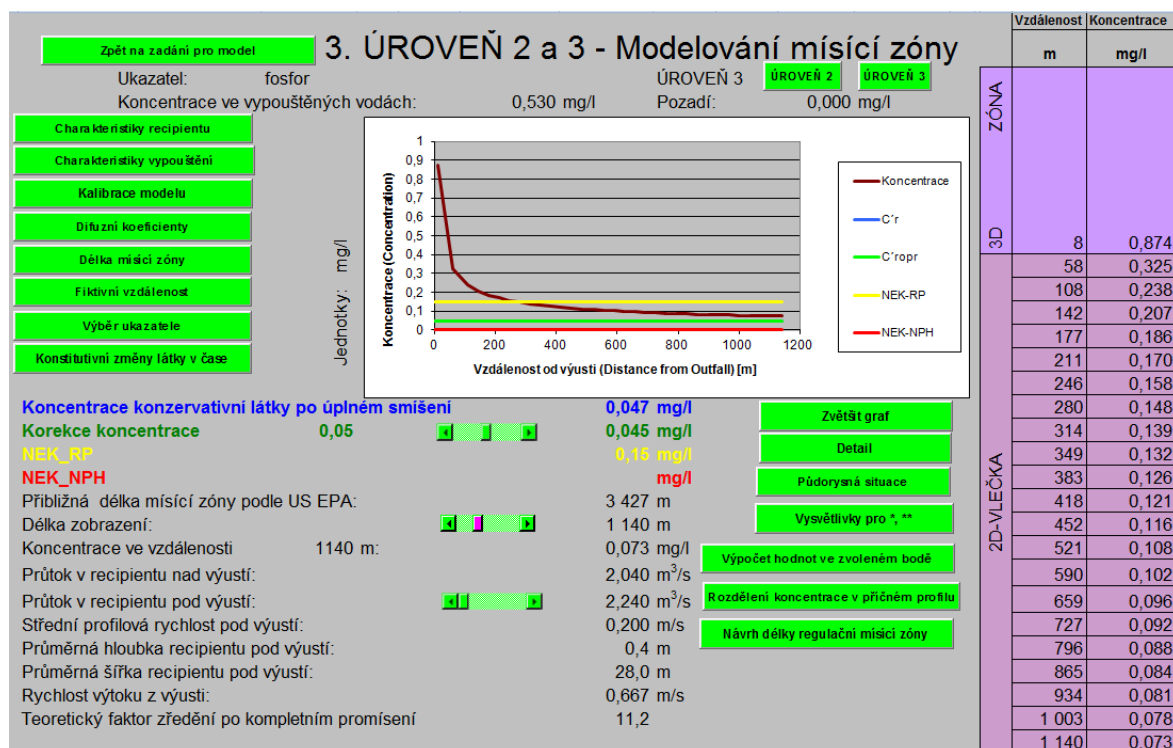
- Manningův součinitel drsnosti – vyjadřuje hydraulickou drsnost povrchu koryta. Lze jej odhadnout porovnáním s Katalogem drsností, výpočtem nebo hydrometrováním (viz Kapitola 4.4); přesná data mají k dispozici správci povodí.
- podélný spád čáry energie – tj. sklon toku v m/m. Je možné jej odečíst z nadmořské výšky dna podélných profilů toků, které jsou k dispozici zvláště pro záplavová území u správců povodí nebo hydrometrováním; orientačně z vrstevnic (podkladové mapy ČÚZK 1 : 10 000 jsou přístupné v Hydroekologickém informačním systému HEIS VÚV [52]).
- průtok v recipientu ( $Q_{330}$ ) a koncentraci PZL ( $P_{90PZL}$ ) v odpadní vodě a případně v recipientu nad zdrojem znečištění.

Poznámka: Konsumpční křivka (nebo také konsumční křivka) znázorňuje v hydrologii vztah mezi průtokem a vodním stavem v určitém měrném profilu toku. Do grafu se vynášejí naměřené průtoky za různých vodních stavů na daném profilu toku. Jednotlivými body se následně proloží regresní křivka, která představuje konsumpci. Nejčastěji se konsumpční křivka zpracovává pro měrné profily toků, kde je dlouhodobě monitorován vodní stav. Pomocí konsumpční křivky lze zpětně k danému vodnímu stavu přiřadit průtok.

Základní panel nabídky programu CIT – Úroveň 2 je zobrazena na Obr. 50. Kliknutím na zelená tlačítka se rozbalí nabídky, které umožňují zadání vstupních dat nebo zobrazení výsledků. Zelené posuvníky umožňují plynulou změnu nastavení vybraných veličin. V centrální části je graf průběhu koncentrace polutantu v závislosti na vzdálenosti od místa úniku/vypouštění, v pravé části pak tabulka s číselným vyjádřením.

Charakteristiky vypouštění – do žlutých polí se zadávají následující hodnoty:

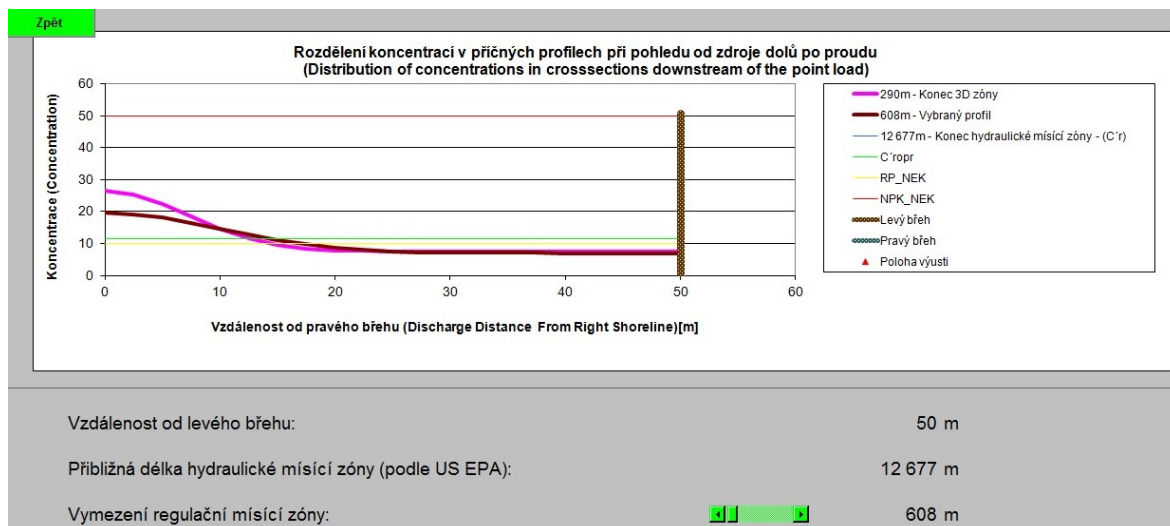
- možnost volby tvaru výpusti (kruhová, čtvercová, obdélníková, lichoběžníková)
- zasání rozměrů výpusti
- zadání vzdálenosti výpusti od břehové linie
- zadání měrné hmotnosti odpadní vody (pro porovnání, zda se vlečka znečištění bude vznášet na hladině nebo se zanoří směrem ke dnu).



Obr. 50 Hlavní obrazovka programu CIT – Úroveň 2

Zobrazením průběhu koncentrace zvoleného ukazatele v podélném řezu toku CIT graficky a tabelárně zobrazuje oblast, ve které aktuální koncentrace PZL dosáhne hodnoty NEK-RP, případně NEK-NPH a koncentrace po úplném smísení povrchové a odpadní vody na konci mísící zóny.

Program umožňuje rovněž vizualizaci průběhu koncentrace v libovolném příčném řezu toku. Je tím možno v daném místě zjistit, zda k překračování NEK-RP dochází v celém příčném profilu nebo jen jeho části. Tato skutečnost je důležitá pro další posouzení přijatelnosti rozsahu mísící zóny (zvl. při posuzování vlivu na vodní organismy schopné migrace). Zjištění šířky vlečky znečištění, kde dochází k překračování NEK je důležité pro posouzení oblastí s možnými akutními nebo chronickými ekotoxikologickými účinky na vodní organismy. Ty organismy, které jsou schopny migrace (ryby, korýši) mohou využívat oblast toku nezasaženou vypouštěním nebo únikem látky.



Obr. 51 Znárodnění průběhu znečištění v příčném profilu toku

Vymezení regulační mísicí zóny

Délka mísicí zóny pro PZL je vymezena vzdáleností mezi bodem vypouštění odpadní vody/úniku a místem, kde je mísením dosaženo hodnoty NEK-RP. Po provedení posouzení rozsahů mísicí zóny výše uvedeným postupem pro každou předmětnou znečišťující látku kompetentní orgán syntézou získaných informací stanoví regulační mísicí zónu na základě nejméně příznivého výsledku pro dané vypouštění. Tím je zjištěná nejdelší mísicí zóna (v případě testování více PZL), která je dále posuzována na základě místních podmínek z hlediska dostatečné ochrany citlivých receptorů. Pokud se v oblasti mísicí zóny s překračováním NEK-RP vyskytují odběry vody pro úpravu na vodu pitnou a jiné chráněné oblasti, je potřeba rozsah mísicí zóny zkrátit, což v podstatě znamená, že vypouštěné znečištění musí být sníženo přijetím adekvátních opatření.

Aby se posoudila možnost akutních toxických účinků, je také třeba stanovit, zda mohou v blízkém okolí místa vypouštění vznikat akutní toxické koncentrace. To může nastat tehdy, pokud maximální obsah PZL ve vypouštěných odpadních vodách v hodnoceném období byl vyšší než příslušná NEK-NPH (pokud je stanovena) nebo údaj o ekotoxicitě z odborné literatury. Pokud by nepříznivá situace nastala v celém příčném profilu toku nebo by taková oblast zasahovala do lokality vyžadující zvláštní ochranu, je potřeba přijmout vhodná opatření pro minimalizaci nebo vyloučení negativního vlivu na tuto oblast.

Pokud mísicí zóna:

- nepřesahuje 10 % délky útvaru povrchových vod anebo 1 000 m v případě útvarů povrchových vod kratších než 10 km,
- nezasahuje do chráněných území (odběry pro úpravu na vodu pitnou, koupací oblasti, povrchové vody vhodné pro život a reprodukci vodních organismů),
- není v navrhované oblasti jiný citlivý receptor, který by mohl být dotčen vypouštěním (např. trdliště ryb),
- nepřekračuje PZL koncentraci NEK-RP na konci hydraulické mísicí zóny,

je možno na úrovni 2 vymezit regulační mísicí zónu bez nutnosti dalšího posouzení nebo přijetí opatření k omezení vlivu vypouštění. To nevylučuje v budoucnu přijímat opatření na snižování rozsahu regulační mísicí zóny.

Regulační mísicí zóna se nevymezí v případě, kdy její délka vychází kratší než 100 metrů.

O posouzení a stanovení regulační mísicí zóny provede kompetentní orgán záznam do formuláře, jehož ukázka je uvedena v Příloze G této práce. Hodnoty o vypouštěném znečištění (koncentrace a nezbytné výpočty koncentračních charakteristik) použitých pro vymezení mísicí zóny lze přiložit k formuláři formou příloh a/nebo na CD nosiči.

Pokud je potřeba přijímat opatření na snížení rozsahu mísicí zóny a navrhnout opatření u zdroje znečištění na jeho snížení, je nutné zpřesnění rozsahu mísicí zóny na úrovni 3 a úrovni 4 tak, aby opatření ke snížení znečištění u zdroje byla založena na přesnějším posuzování.

### **5.3.4 Úroveň 3 – Podrobné posouzení**

Pokud posuzování dospěje až do úrovně 3, je to proto, že relativně jednoduché kontrolní prahové hodnoty a modelovací přístupy úrovně 0–2 nebyly schopny zajistit dostatečně spolehlivé rozhodování o tom, zda je mísicí zóna přijatelná, nebo ne. Je jasné, že bude existovat řada okolností, za kterých potenciálně přijatelná navržená mísicí zóna nemůže být povolena pouze na základě úrovně 0–2. Proto by pokračení k úrovni 3 nemělo znamenat předpoklad pravděpodobné „nepřijatelnosti“, ale pouze to, že okolnosti jsou takové, že je zapotřebí podrobnější posouzení, než jaké umožňovaly kontrolní přístupy

na předchozích úrovních. Na úrovni 3 by měl být vyžadován přístup modelování sofistikovanější než na úrovních 1 a 2, který by vedl k podrobnějšímu zvážení prostorové a časové proměnlivosti rozsahu překročení NEK. V některých případech může být modelování lépe kalibrováno/ověřeno podle údajů z terénu, aby se zajistila vyšší spolehlivost výsledků v porovnání s výsledky, které byly k dispozici při posuzování na úrovni 2.

Příslušné orgány by měly uzpůsobit svůj přístup k přijatelnosti tím, že umožní zvážení všech relevantních faktorů jako:

- prostorový a časový rozsah oblastí překročení NEK
- povahu a rozsah vodního recipientu, jeho měnící se hydrodynamiku a chemickou a fyzikálně-chemickou kvalitu prostředí
- polohu hranic vodních útvarů ve vztahu k lokalizaci místa vypouštění
- rozložení a statistiku koncentrací v rámci oblastí překročení NEK-RP, NEK-NPH,
- rozložení receptorů a chráněných oblastí ve zbývající části útvaru povrchových vod s ohledem na rozsah překročení NEK
- vnímavost receptorů na předmětné látky (akutní a chronické účinky)
- očekávané dopady v rámci rozsahů překročení NEK
- významnost očekávaných dopadů s konkrétním ohledem na ekologické a chemické cíle stanovené pro předmětné vodní útvary prostřednictvím procesu plánování (stávajících nebo připravovaných plánů povodí).

Zkoumání a modelování na úrovních 3 a 4 mohou být nákladná. Posuzovaný průmyslový podnik by měl proto poskytnout nezbytné údaje pro modelování dopadu vypouštění na vodní prostředí.

#### Průtokové poměry

Za průtok odpadní vody  $Q_{ov}$  se bere střední průtok v době vypouštění ve stanoveném časovém období (shodně s předchozí úrovní posouzení). S ohledem na koncentrační charakteristiky ve vazbě na průtok je v opodstatněných případech možno pro výpočet regulační mísící zóny použít jinou průtokovou charakteristiku.



Za průtok  $Q_r$  se vždy dosadí průtok, který je dosahován po 90 % času, tj.  $Q_{330}$  v místě vypouštění nebo v nejbližším vhodném měrném profilu ČHMÚ nebo správce povodí (shodně s předchozí úrovní posouzení).

### Koncentrace

Za koncentraci PZL v odpadní vodě  $C_{ov}$  se bere koncentrace s pravděpodobností nepřekročení 90 % ( $P_{90}$ ) ze souborů hodnot, které byly použity při posuzování na předchozích úrovních. Pro výpočet se v případě kovů použije celková forma (nefiltrovaný vzorek), vhodnější je ale posouzení koncentrací rozpuštěné formy, protože NEK se vztahují k rozpuštěné formě kovů. Vzhledem k nutnosti zkrácení délky regulační mísící zóny se modelují další případy časoprostorového rozložení překračování NEK použitím jiných koncentračních charakteristik (např.  $C_{prům}$ ,  $P_{80}$ ,  $P_{70}$ , apod.) a posuzuje se, po jakou dobu a v kterém období roku k nepříznivému stavu dochází. To umožní lépe specifikovat opatření, která budou muset být přijata pro snížení rozsahu mísící zóny.

### Hydrologické charakteristiky

Protože přibližný rozsah mísící zóny je znám z předchozí úrovně posuzování, umožňuje to pro posuzovaný úsek toku zpřesnit na základě dostupných údajů jednotlivé hydrologické charakteristiky ovlivňované tvarem koryta a morfologickými podmínkami (především drsností dna). Doporučuje se maximální možné využití dat správců povodí.

### Vliv měrné hmotnosti a teplot odpadní vody a povrchové vody

Rozdíl měrné hmotnosti odpadní vody a povrchové vody, pokud je významný, má vliv na počáteční mísení. Měrná hmotnost je teplotně závislá veličina. Mohou nastat dva základní scénáře: pokud je měrná hmotnost odpadní vody nižší než měrná hmotnost povrchové vody, je odpadní voda v recipientu nadlehčována, tj. směrem k hladině, vlečka znečištění je vizuálně snadno patrná a spojitá. V opačném případě se vlečka znečištění zanoří směrem ke dnu a teprve po proběhnutí 3D smísení, kdy dochází k postupnému vyrovnání měrné hmotnosti, se vlečka znečištění přibližuje směrem k hladině. Tím nemusí být vlečka znečištění v bezprostřední blízkosti pod místem vypouštění patrná jak vizuálně, tak např. měřením konduktivity vody při hladině.

Tento jev může mít vliv na expozici biocenózy a zoocenózy, které jsou lokalizovány u dna, zvláště pokud si uvědomíme, že v první blízké oblasti mísení mohou být organismy vystaveny akutním toxickým účinkům (koncentrace PZL nad NEK-NPH).

### Český imisní test – Úroveň 3

Použití Českého imisního testu je obdobné jako na úrovni 2. Na úrovni 3 je možnost voleb vkládaných charakteristik širší a je také možno provést kalibraci modelu pomocí údajů z terénu. CIT umožňuje modelovat rozsah mísicí zóny vkládáním libovolných charakteristik:

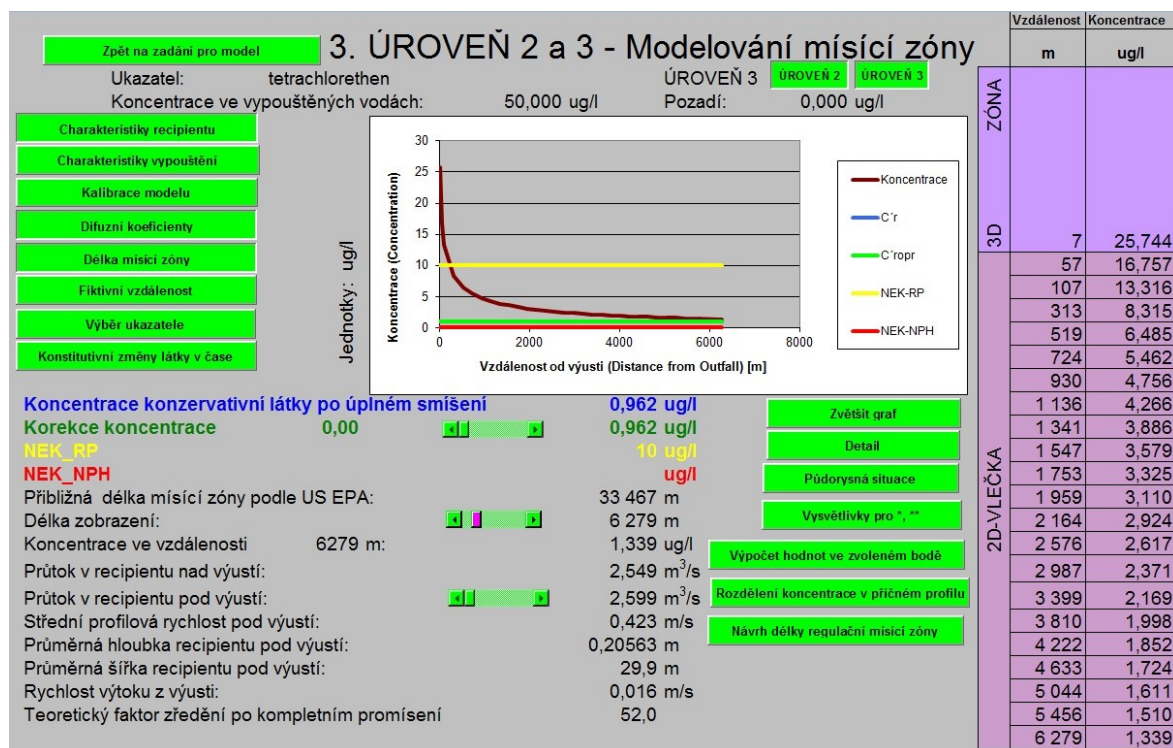
- průtoku vypouštěné odpadní vody
- koncentrace PZL v odpadní vodě
- charakteristiky recipientu

Nabídka hlavní obrazovky programu CIT – Úroveň 3 je rozšířená o nové nabídky proti úrovni 2:

#### Délka mísicí zóny:

Nabízí výrazně širší možnosti zadání charakteristik recipientu:

1. Průtok v recipientu pod výpustí + Manningův součinitel drsnosti + koeficient pro hloubku + exponent pro hloubku + koeficient pro rychlost + exponent pro rychlost.
2. Střední profilová rychlost pod výpustí + plocha příčného profilu + omočený obvod + Manningův součinitel drsnosti.
3. Je shodná s úrovní 2 (průměrná hloubka toku pod výpustí + průměrná šířka toku pod výpustí + Manningův součinitel drsnosti + spád toku).
4. Průtok v recipientu pod výpustí + plocha příčného profilu + hydraulický poloměr + Manningův součinitel drsnosti.
5. Průtok v recipientu pod výpustí + plocha příčného profilu + omočený obvod + Manningův součinitel drsnosti.
6. Střední profilová rychlost pod výpustí + průměrná hloubka toku pod výpustí + průměrná šířka toku pod výpustí + Manningův součinitel drsnosti.



Obr. 52 Hlavní obrazovka programu CIT – Úroveň 3

Výše uvedené charakteristiky recipientu vycházejí ze základních požadavků hydrodynamiky proudění v otevřeném korytě.

Průměrnou plochu příčného profilu je možné zjistit z příčných řezů profilů, které jsou k dispozici u správců povodí. Vzhledem k tomu, že tyto řezy jsou zpracovány v programu AutoCad, není problém pro různé výšky hladiny spočítat plochu. Na zájmovém úseku toku se bude s velkou pravděpodobností nacházet více příčných řezů. V takovém případě je žádoucí vypočítat průměrnou plochu ze všech těchto příčných profilů (to záleží především na ne/pravidelnosti koryta). Průměrný omočený obvod – je možné vypočítat obdobným postupem, jako v případě plochy příčného profilu. Zpracovaná metodika obsahuje příklady dostupných podkladů pro zpřesnění charakteristiky koryta i podrobný postup použití ve své přílohové části.

Výpočet Chézyho součinitele (v listu „Charakteristiky recipientu“) se na úrovni 3 rozšiřuje o další možnost volby, celkem tedy podle Manninga a podle Pavlovského. Výpočet drsnosti podle Pavlovského je přesnější v případech, kdy se drsnost koryta nejvíce projevuje (za nízkých průtokových stavů, kdy je hloubka v recipientu malá).

Zpět

### 3.1 Charakteristiky recipientu

Doporučené hodnoty hydraulické drsnosti

Vyberte vhodné varianty z následujících:

Varianta zadání vstupních hodnot:

6

1 2 3 4 5 6

Varianta výpočtu Chézyho součinitele:

1

1 2

Autor varianty výpočtu Chézyho součinitele

Manning

Vložit charakteristiky recipientu

Změnit charakteristiky recipientu

Hodnoty platné pro všechny varianty

Koncentrace pozadí

Charakteristika	Hodnota	Jednotky
Teplota rec.	12,800	°C
Měrná hmotnost	1	kg.m <sup>-3</sup>
Q <sub>330</sub>	3,5	m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>

Charakteristika	Jednotky	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Průtok v recipientu pod výustí	m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	2,125	2,652	3,944						
Střední profilová rychlost pod výustí	m.s <sup>-1</sup>	0,250	0,260	0,290						
Průměrná hloubka recipientu pod výustí	m	0,500	0,600	0,800						
Průměrná šířka recipientu pod výustí	m	17,000	17,000	17,000						
Plocha příčného profilu	m <sup>2</sup>	8,500	10,200	13,600						
Omočený obvod	m	18,000	18,200	18,600						
Hydraulický poloměr	m	0,472	0,560	0,731						
Manningův koeficient drsnosti	m <sup>-1/3</sup> .s	0,040	0,040	0,040						
Podélný spád čáry energie	m/m	2,7E-04	2,3E-04	2,0E-04						
Koeficient pro hloubku	-		0,2689	0,2845						
Exponent pro hloubku	-		0,823	0,7559						
Koeficient pro rychlost	-		0,22	0,21						
Exponent pro rychlost	-		0,177	0,2441						
Koeficient pro šířku	-		17,00	17,00						
Exponent pro šířku	-		0,00	0,00						
Vypočtená šířka	m		17,00	17,00						
Průměrná šířka minus vypočtená šířka	m		0,00	0,00						
Chézyho součinitel	m <sup>0,5</sup> .s <sup>-1</sup>	22,061	22,700	23,729						

Obr. 53 CIT – Úroveň 3; ukázka vložení charakteristik recipientu

Fiktivní vzdálenost:

Tlačítko „Fiktivní vzdálenost“ v základním panelu lze využít pro vliv možných singularit a tedy pro posun fiktivního počátku vypouštění proti proudu. V podstatě jde o zkracování délky mísení vlivem různých objektů na toku, jako jsou jezy, mostní pilíře, významná zúžení toku nebo časté změny směru hlavního proudu v závislosti na morfologii koryta. Velikost fiktivního posunu délky mísící zóny lze zjistit pouze kalibrací modelu, tj. na základě dat testovaného parametru znečištění (přesná a nejsnáze dostupná jsou měření elektrické vodivosti – konduktivity) z terénních měření. Nespojivosti v zobrazené kalibrační křivce lze pak řešit jejím fiktivním posunem (úroveň 4).

Konstitutivní změny látky v čase:

Samočistící funkcí toku nebo fyzikálními procesy (odtékání, sedimentace) může docházet k postupnému úbytku látky v toku. Tento úbytek vzhledem k velikosti dotokové doby v oblasti mísící zóny, kde je překračována NEK (v řádu minut až hodin), většinou zanedbáváme. Nicméně na úrovni 3 je dána možnost rovnicí s rychlostní konstantou kinetiky 1. řádu simulovat úbytek látky, pokud jsou taková data z literatury k dispozici.

### Vymezení regulační mísící zóny

Po provedení vymezení mísící zóny pro všechny předmětné znečišťující látky (jak už to vyplynulo z výsledků úrovně 2) kompetentní orgán rozhodne o vymezení délky regulační mísící zóny pro posuzovanou výpust s ohledem na přítomnost jevu/jevů (např. citlivého receptoru), kvůli kterému/kterým bylo potřeba provést posouzení na úrovni 3 shodným postupem z předchozí úrovně 2. Do protokolu o vymezení mísící zóny se uvedou opatření, která jsou navrhována pro snížení rozsahu mísící zóny a v jakém časovém horizontu.

Kompetentní orgán může také rozhodnout, že po zvážení všech časo-prostorových charakteristik znečištění v recipientu pod místem vypouštění a přítomných citlivých receptorů není v některých případech nutné opatření přijímat nebo se tato opatření aplikují jen po určitou dobu v roce. Toto však záleží případ od případu. Např. pokud jediným citlivým receptorem jsou ryby a z prostorového rozložení koncentrace PZL vyplývá, že část recipientu zůstává v posuzované oblasti vypouštěním nezasažená, není potřeba opatření přijímat. To nevylučuje v budoucnu přijímat další opatření na snižování rozsahu regulační mísící zóny.

Pokud i po provedení posouzení na úrovni 3 existují pochybnosti o přijatelnosti vymezené mísící zóny, je možné vyžadovat posouzení na úrovni 4, které je založeno na terénních měřeních a případně na zpracování samostatné studie. To se může týkat především posouzení nově uvažovaného, plánovaného nebo v nejbližší budoucnosti realizovaného vypouštění (např. novým subjektem).

### **5.3.5 Úroveň 4 – Průzkumná studie/validace modelu**

V určitých případech může být pro zpřesnění posouzení rozsahu mísící zóny užitečné provést průzkumnou studii - terénní průzkum. Přestože jsou zde průzkumné studie uvedeny jako úroveň 4, mohou se použít také v předchozích úrovních posuzování, zvláště na úrovni 3.

Průzkumné studie mohou zahrnovat širokou skupinu činností jako:

1. terénní měření koncentrace chemických látek nebo konduktivity
2. terénní měření hydrologických charakteristik, jako je hloubka, šířka koryta, sklon čáry energie (hydrometrováním), aktuálních průtoků odpadní a povrchové vody

3. inventarizace objektů na toku (jezy, mostní pilíře, rozdělovací objekty, apod.)
4. zrnitostní analýza substrátu dna za účelem provedení zrnitostní analýzy a stanovení součinitele drsnosti  $n$
5. zaměření na biologické aspekty včetně biologie dna, břehů, vodního sloupce
6. validace modelu CIT – Úroveň 2 a 3 na základě terénních měření
7. studium (rešerše) literatury nebo nové laboratorní studie v oblasti ekotoxiky: např. u konkrétních důležitých receptorů, pro které nejsou snadno dostupné přímo použitelné nebo užitečné zástupné údaje (platí pro jiné než prioritní látky, pro něž byly stanoveny NEK na úrovni Společenství).

Pokud jsou informace k dispozici (např. od správce toku, znečišťovatele, z výzkumu), může je příslušný orgán při rozhodování využít a není nezbytnou podmínkou realizovat terénní měření za každou cenu.

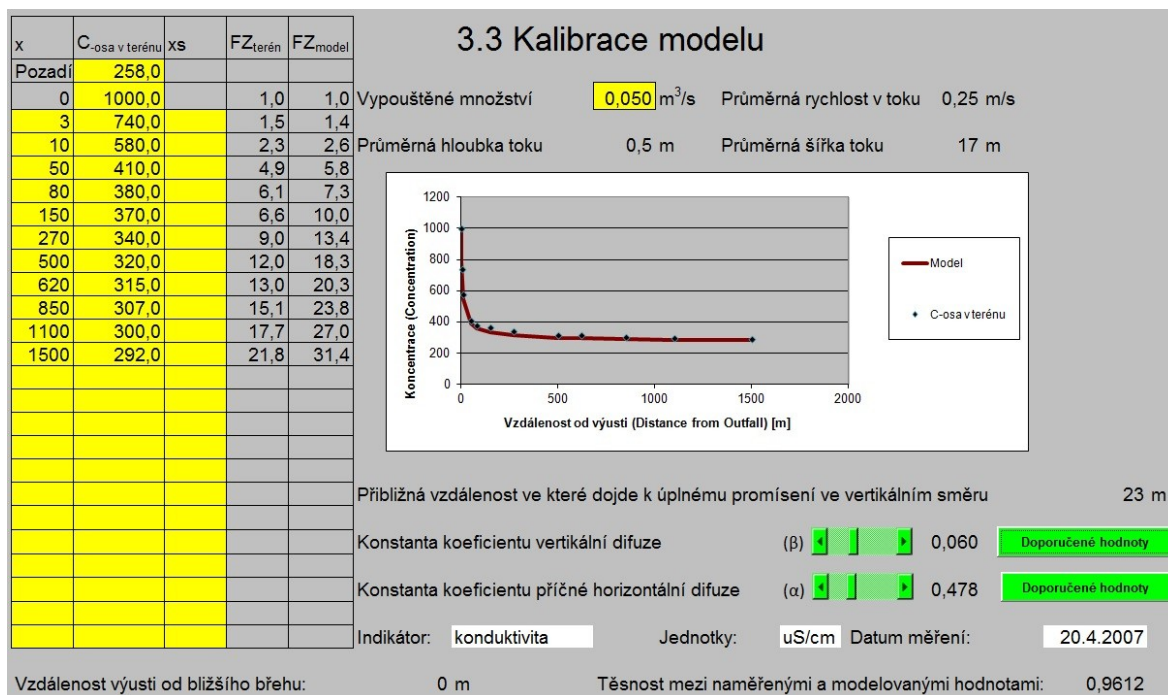
Poznámka 1: Při provádění bodu 7) nejde o to pokoušet se o odvození nové, méně přísné NEK, která se uplatní v místních vodách.

Poznámka 2: Změny vyvozené při zkoumání konkrétního vypouštění nemusely nutně vzniknout kvůli tomuto vypouštění, ale mohou existovat také v důsledku jiných vlivů na životní prostředí.

Použití průzkumných studií je věcí rozhodnutí členského státu. Není určeno k zavádění dalšího monitorování a nemělo by se ani vykládat jako pokus o uložení povinnosti dalšího monitorování.

Pokud se uvažuje o práci v terénu, je také důležité začlenit do úvah související zdravotní a bezpečnostní rizika při jejím provádění.

Příklad kalibrace modelu s využitím měření konduktivity v terénu je uveden v Příloze č. 5 zpracované metodiky a na Obr. 54. Do žlutých polí se zadají výsledky z terénních měření koncentrace PZL nebo konduktivity. Poté je možno pomocí posuvníků v pravé části obrazovky provést kalibraci modelu tak, aby se maximální koncentrace naměřené v ose vlečky co nejvíce kryly s modelem, který je reprezentován hnědou čarou. Přitom je potřeba, aby shoda nastala především v oblasti 2D mísení.



Obr. 54 CIT – Úroveň 3; ukázka obrazovky kalibrace modelu

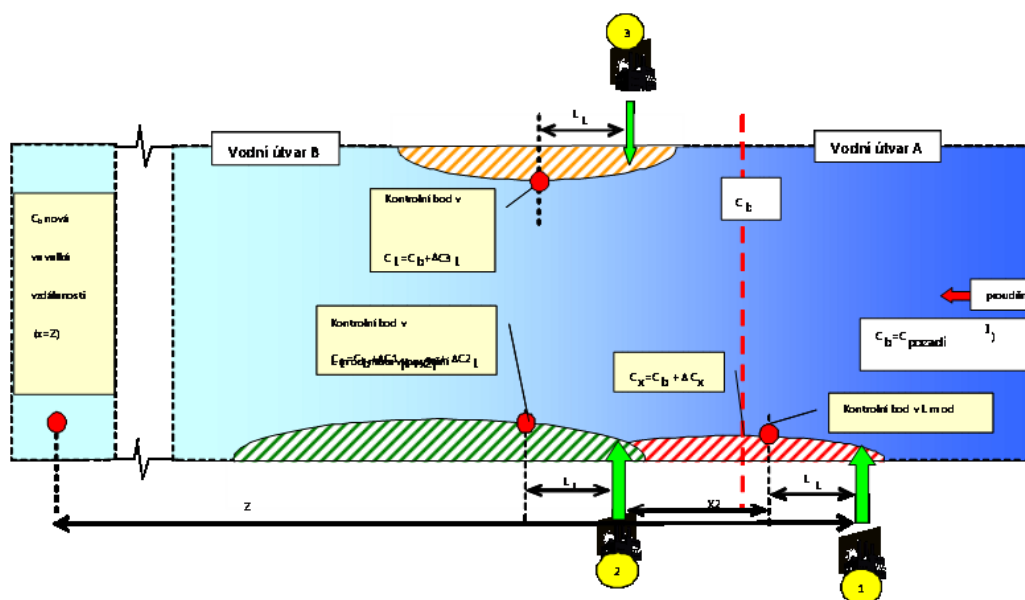
Konstanta koeficientu vertikální difuze  $\beta$  se v průběhu kalibrace nastaví pomocí zeleného posuvníku tak, aby modelová přibližná vzdálenost, ve které dojde k úplnému promísení ve vertikálním směru, odpovídala vzdálenosti zjištěné v terénu.

Konstanta koeficientu příčné horizontální difuze  $\alpha$  se v průběhu kalibrace nastaví pomocí zeleného posuvníku tak, aby se hodnoty faktoru zředění modelu (FZ<sub>model</sub>) pokud možno co nejvíce přiblížily hodnotám zjištěným při terénní studii (FZ<sub>terén</sub>). Těsnost nastavení konstanty  $\alpha$  a tedy i kalibrace v pravém dolním rohu je nejvyšší při hodnotě, která se nejvíce přibližuje hodnotě 1.

Upozornění: Terénní měření je potřeba provádět při průtoku v recipientu blízkém  $Q_{330}$ , na který je rozsah mísící zóny posuzován. Pro jiné průtokové stavy budou platit jiné difúzní koeficienty.

### 5.4 Řešení vícečetných vypouštění

V městských aglomeracích, zejména průmyslových, může řada jednotlivých vypouštění vést k překrytí jednotlivých mísících zón. Základ pro stanovení přijatelnosti nebo nepřijatelnosti kombinovaných vypouštění zůstává přesně stejný, jako byl u jednotlivého vypouštění. Každá výpust se posuzuje individuálně s  $C_r = 0$ . Poté se provede výpočet přijatelnosti mísící zóny se zadáním hodnoty koncentrace PZL v recipientu nad místem vypouštění. V případě překryvu mísících zón se za  $C_r$  dosadí u zdroje níže po proudu hodnota vypočtená modelem pro výše položenou mísící zónu (proti proudu) v takové vzdálenosti, která se rovná vzdálenosti mezi zdrojem 1 a zdrojem 2 (Obr. 55).



Obr. 55 Interakce mezi bodovými zdroji na přilehlých vodních útvarech [48]

### 5.5 Přeshraniční překračování mísících zón

Čl. 6 odst. 1 směrnice 2008/105/ES se uvádí, že: "Překročí-li členský stát některé z NEK, nepovažuje se to za neplnění povinností podle této směrnice, může-li prokázat, že překročení způsobil zdroj znečištění mimo jeho jurisdikci."

Jakost povrchové vody proti proudu (na území jiného členského státu) může být kritickým faktorem pro stanovení mísící zóny ve vodním útvaru, kterým prochází státní hranice.



Pokud je nové vypouštění plánováno těsně proti proudu od státní hranice (tj. plné promísení nebude v rámci vnitrostátní jurisdikce možné), vznikne implicitní požadavek, aby příslušný orgán pokud možno zapojil do účasti na rozhodovacím procesu zástupce příslušných orgánů sousedního státu. To platí pro recipienty, které státní hranici protínají, ale může to platit i o vypouštění do recipientů, které státní hranici tvoří.

### *5.6 Strategie pro redukci mísících zón*

Ustanovení čl. 4 odst. 2 směrnice 2008/105/ES uvádí, že: *"Členské státy, jež vymezují mísící zóny, uvedou v plánech povodí vypracovaných v souladu s článkem 13 směrnice 2000/60/ES popis:*

- a. přístupů a metodických postupů použitých pro vymezení těchto zón a*
- b. opatření přijatých s cílem snížit v budoucnu rozsah mísících zón, jako jsou např. opatření podle čl. 11 odst. 3 písm. k) směrnice 2000/60/ES, přezkum povolení uvedených ve směrnici 2008/1/ES nebo předchozí kroky uvedené v čl. 11 odst. 3 písm. g) směrnice 2000/60/ES.*

Výše citované odkazy na příslušné části směrnice 2000/60/ES ukládají členským státům přijímat opatření na snižování znečištění povrchových vod prioritními látkami a k zastavení a postupnému odstranění emisí, úniků a vypouštění prioritních nebezpečných látek. Dále pak regulovat emise na základě nejlepších dostupných technologií, stanovení emisních limitů v povolení k vypouštění odpadních vod u bodových zdrojů znečištění a zavádět nejlepší environmentální postupy v případě difúzních vlivů (plošné znečištění).

Rozsah překročení NEK lze snížit např.:

- použitím nejlepší dostupné techniky ve výrobě/technologii (tzv. BAT)
- použitím nejlepší dostupné technologie v oblasti čištění odpadních vod
- omezením zátěže (např. náhradou používaných surovin, změnou technologického procesu výroby, změnou technologie čištění odpadních vod)
- řízením jiných emisí do vody než u posuzovaného zdroje, aby se snížily koncentrace pozadí,

- revizí uspořádání výpusti a její konstrukce, aby se upravily počáteční podmínky mísení, aby se změnilo rozložení koncentrací PZL v recipientu,
- řízením průtoku v recipientu, aby se vytvořil vyšší průtok, nebo řízeným vypouštěním odpadní vody v závislosti na průtoku v recipientu.

Výše uvedené varianty by se měly zvážit za účelem změny rozsahu překročení NEK souvisejících s vypouštěním. To, zda je některá z nich vhodná nebo možná pro dané vypouštění, by se mělo posoudit případ od případu.

V jiných případech může být optimalizace z hlediska životního prostředí dosaženo tím, že se vytvoří konstrukce výpusti, která počáteční mísení minimalizuje. To může být vhodné zejména, pokud je odpadní voda teplejší než povrchová voda, a má tímto nižší měrnou hmotnost. Vlečka znečištění má pak tendenci „plout“ v horních vrstvách vodního sloupce. Tím se omezí zasažení bentosu, který je přisedlý k substrátu v hloupějších partiích toku. Dále se umožní průchod migrujících druhů pod vlečkou znečištění a zvláště vedle ní (a dál od ní). V některých případech to může také urychlit procesy u hladiny (např. atmosférickou výměnu, těkavost, fotochemické odbourávání atd.), které sníží celkovou koncentraci PZL v toku. To platí samozřejmě pro hlubší povrchové toky a pro oblast bezprostředně navazující na místo vypouštění (ochrana proti akutním toxickým účinkům), protože vertikální promíchání znečištění v toku nastává u většiny toků v ČR záhy.

Je také nutné pochopit, že mísící zóna nemůže být zcela eliminována, pokud vypouštění, které obsahuje předmětnou kontaminující látku, je na úrovních nad hodnotou NEK.

## 6. Určení rozsahu mísící zóny pomocí programu CIT

Vztahy prezentované v kapitole 4 umožňují odhadnout rozsah mísící zóny pouze z hlediska její celkové délky. Nezahrnují průtokové poměry a koncentraci znečišťujících látek. Český imisní test (CIT), stručně zmíněný v předchozí kapitole, umožňuje predikci koncentrace znečišťující látky v libovolném bodě příčného a podélného profilu v oblasti mísící zóny. V této kapitole budou výsledky rozsahu mísící zóny zjištěné terénními měřeními porovnány s vypočtenými pomocí CIT (Úroveň 3) a na několika konkrétních případech bude provedeno vymezení regulační mísící zóny. Nejprve však bude pojednáno o testování v programu použitého vztahu pro predikci koncentrace  $C_{max}$  ve vlečce znečištění.

### 6.1 Testování těsnosti Fischerova vztahu na výsledcích terénních měření

Fischerův vztah pro predikci koncentrace ve vlečce znečištění, kde koncentrace v příčném profilu není ještě spojitá (konstantní), je uvedena v kapitole 3.4 této práce:

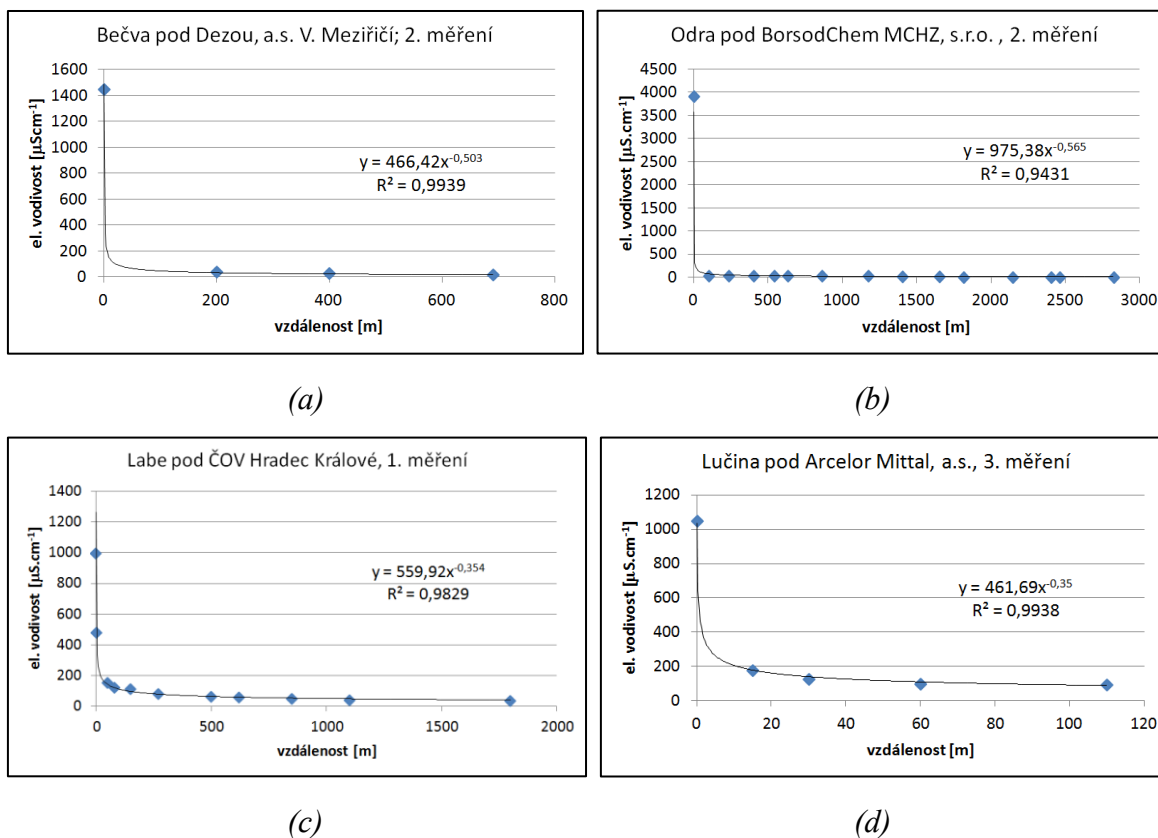
$$\frac{C}{C_o} = \frac{1}{\sqrt{4\pi x'}} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \{e^{[-(y'-2n-y_0')^2/4x']} + e^{[-(y'-2n+y_0')^2/4x']}\} \quad \text{vztah (32)}$$

Z matematického hlediska jde o mocninnou funkci. Zjednodušeně bychom mohli první část vztahu (32) zapsat ve tvaru:

$$\frac{C}{C_o} = a \frac{1}{\sqrt{x'}} \quad \text{neboli} \quad \frac{C}{C_o} = ax^{-0,5} \quad \text{vztah (44)}$$

Bylo provedeno srovnání, jak tento Fischerův vztah reálně odpovídá poměrům českých řek, neboli zda byl pro model CIT vybrán vhodný výpočtový algoritmus, který je jinak hojně využíván US EPA. Konkrétně byly vyneseny grafické závislosti maxima konduktivity ve vlečce znečištění ( $C_{max}$ ) pod studovaným zdrojem zjištěné v terénu. Následně byla vynesena spojnice trendu z možností: exponenciální, lineární, logaritmická a mocninná. Primárně byla vždy zvolena mocninná funkce a pouze pokud nebyla nejtěsnější z možných, byla vybrána jiná vhodná funkce. Od maximálních hodnot konduktivity v podélném profilu toku byla odečítána hodnota pozadí (konduktivita recipientu nad zdrojem), aby byl testován pouze přírůstek vlivem zdroje. Výsledné hodnoty odmocnitele včetně meze spolehlivosti regresní přímky ( $R^2$ ) jsou pro jednotlivé lokality shrnuty v Příloze H. Vybrané příklady jsou prezentovány na následujících grafech.

Poměrně dobrá shoda v intervalu hodnoty odmocnitele  $(-0,4;-0,6)$  ze vztahu (44) byla nalezena v 45 % měření, což představuje 65 % lokalit.



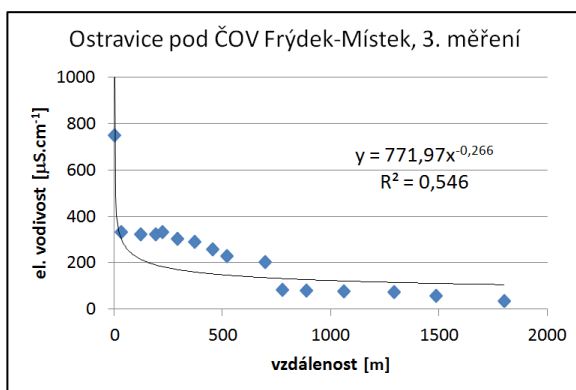
Obr. 56 Ukázka těsnosti Fischerova vztahu z terénních měření  $C_{max}$  pomocí konduktivity na řece Bečvě (a), Odře (b), Labe (c) a Lučině (d)

Až 1/4 měření vykazovala závislost na třetí odmocnině  $x'$  ve jmenovateli vztahu (32). To je způsobeno tím, že velikost odmocnitele je významně ovlivněna oblastí ředění znečištění bezprostředně pod místem vypouštění (první desítky až stovky metrů) a také velikostí přírůstku znečištění na konci mísící zóny. V případě vypouštění vysokého objemu odpadních vod není počáteční ředění znečištění v recipientu tak výrazné, že by odpovídalo druhé odmocnině  $x'$  (grafy (c) a (d) na Obr. 56).

Algoritmu Fischerova vztahu dále neodpovídají případy potoků a málo vodných drobných toků, pokud jsou do nich vypouštěny významné objemy odpadních vod a mísící zóna se ustavuje již po několika desítkách metrů. To je i případ Lučiny, kdy docházelo k vypouštění vysokého objemu odpadní vody do drobného vodního toku v poměru  $Q_{ov} : Q_{rec} = 1 : 6,5$  a tím i k vysokému přírůstku konduktivity na konci mísící zóny. Tím je

hodnota odmocnitele nižší, než v případech, kdy přírůstek znečištění v řece není tak významný (graf (d) na Obr. 56).

Specifickým případem je řeka Ostravice, jde o široký a zároveň mělký štěrkonosný tok. Při vypouštění vysokého objemu odpadních vod (např. z komunální ČOV Frýdek-Místek) je počáteční ředění v recipientu daleko pozvolnější. Vlečka znečištění má kompaktnější charakter i několik stovek metrů pod výpustí. Závislost s přijatelnou mezí spolehlivosti regresní přímky nelze vynést.



(a)



(b)

Obr. 57 Ukázka těsnosti Fischerova vztahu z terénních měření  $C_{max}$  pomocí konduktivity na řece Ostravici(a), výpust odpadních vod z ČOV Frýdek-Místek do Ostravice (b)

Pokud pomineme ojedinělé případy, kdy mocninná regrese není vhodná, můžeme konstatovat, že pro většinu ověřených lokalit je Fischerův vztah pro modelování mísící zóny odpovídající. Případná nižší hodnota odmocnitele pod -0,500 je často způsobená hodnotami změřenými v oblasti bezprostředně pod zdrojem znečištění (v oblasti 3D a na počátku oblasti 2D mísení), kde je jakékoliv modelování průběhu znečištění velice obtížné až nemožné. Je také třeba zmínit, že záleží také na přesnosti měření v terénních podmínkách při podchycení maximální "linie" znečištění ( $C_{max}$ ).

## 6.2 Určení rozsahu hydraulické mísicí zóny programem CIT

Aby bylo možno co nejobjektivněji vymezit regulační mísicí zónu, je potřebná dobrá znalost skutečné hydraulické mísicí zóny. Výsledky experimentálně zjištěných rozsahů mísicí zóny na více než 20-ti lokalitách v ČR byly proto srovnány s výsledky výpočtu délky hydraulické mísicí zóny pomocí programu CIT – Úroveň 3. Na počátku je třeba zdůraznit, že terénní měření byla zaměřena pouze na zjištění rozsahu mísicí zóny pomocí konduktivity bez přesného měření hydrologických veličin hydrometrováním (viz kapitola 4.1.3).

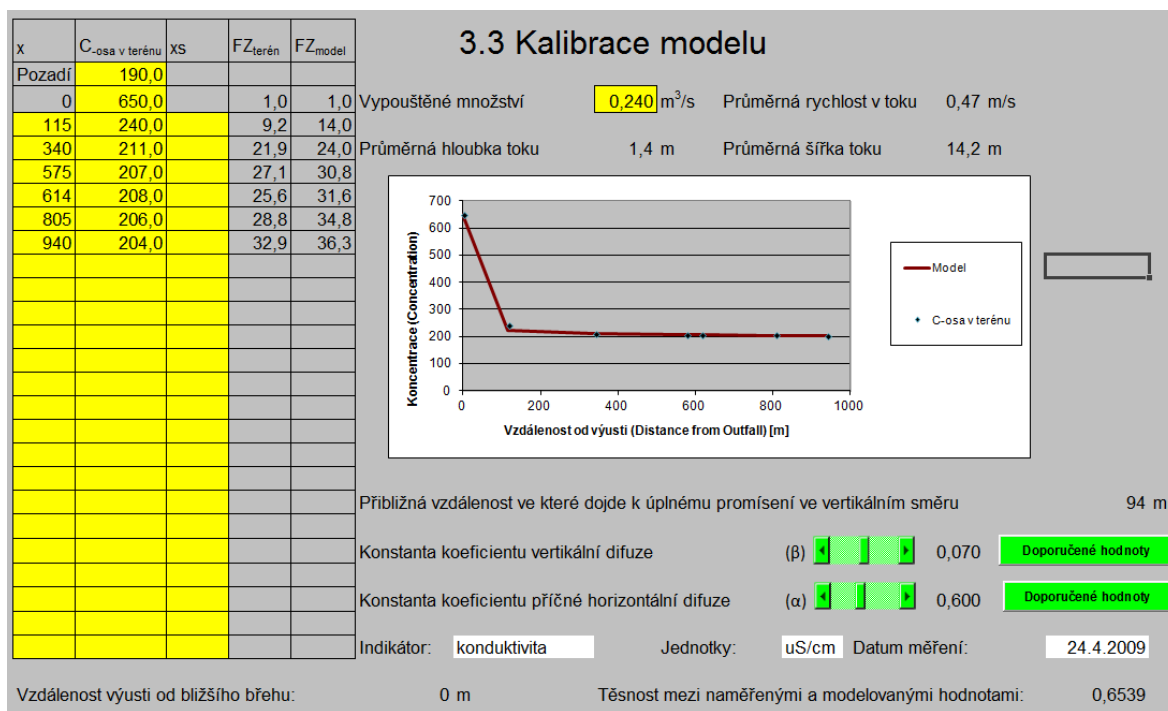
### 6.2.1 Kalibrace modelu

Hydrologické veličiny a hodnoty konduktivity odpadní vody byly zadány do programu CIT. Průměrná hloubka, šířka toku a součinitel drsnosti podle modifikované Cowanovy metody byly použity shodně s výpočty prezentovanými v kapitole 4. Následně bylo přikročeno k určení rozsahu mísicí zóny pomocí Českého imisního testu – Úroveň 3. Konstanta koeficientu vertikální difuze  $\beta$  na listu "3.3 Kalibrace modelu" (Obr. 54) byla nastavena na doporučenou střední hodnotu 0,070 shodně pro všechny lokality. Její velikost nemá na délku mísicí zóny žádný vliv; oblast 3D mísení je v českých tocích krátká, omezená na jednotky až desítky (jen ojediněle stovky) metrů.

Konstanta koeficientu horizontální difuze  $\alpha$  má vedle součinitele drsnosti  $n$  na délku mísicí zóny naopak rozhodující vliv. Fischer [15,53] pro praktické použití doporučuje koeficient  $\alpha$  v rozmezí 0,6  $\pm$  50 % pro přirozené toky. Tento rozsah platí, pokud je tok pomalu meandrující a postranní nepravidelnosti jsou průměrné. Pro umělé přímé kanály platí hodnoty nižší v rozmezí od 0,1 do 0,2. Naopak hodnoty větší než 0,9 platí pro případy, kdy se vyskytují náhlé změny geometrie koryta a ostré zákruty toku.

Do části 3.3 Kalibrace modelu programu CIT byly vloženy hodnoty z terénních měření konduktivity, a to vždy  $C_{\max}$  ( $C_{\text{osa}}$  v terénu) z jednotlivých proměřovaných příčných profilů ve zvolených vzdálenostech od bodu vypouštění (zdroje). Pokud konduktivita pozadí (nad posuzovaným zdrojem) nebyla konstantní v celém příčném profilu, byla do vymezené buňky v programu CIT uvedena průměrná hodnota, v některých opodstatněných případech hodnota charakteristická pro oblast při tom z břehu, na jehož straně je realizováno

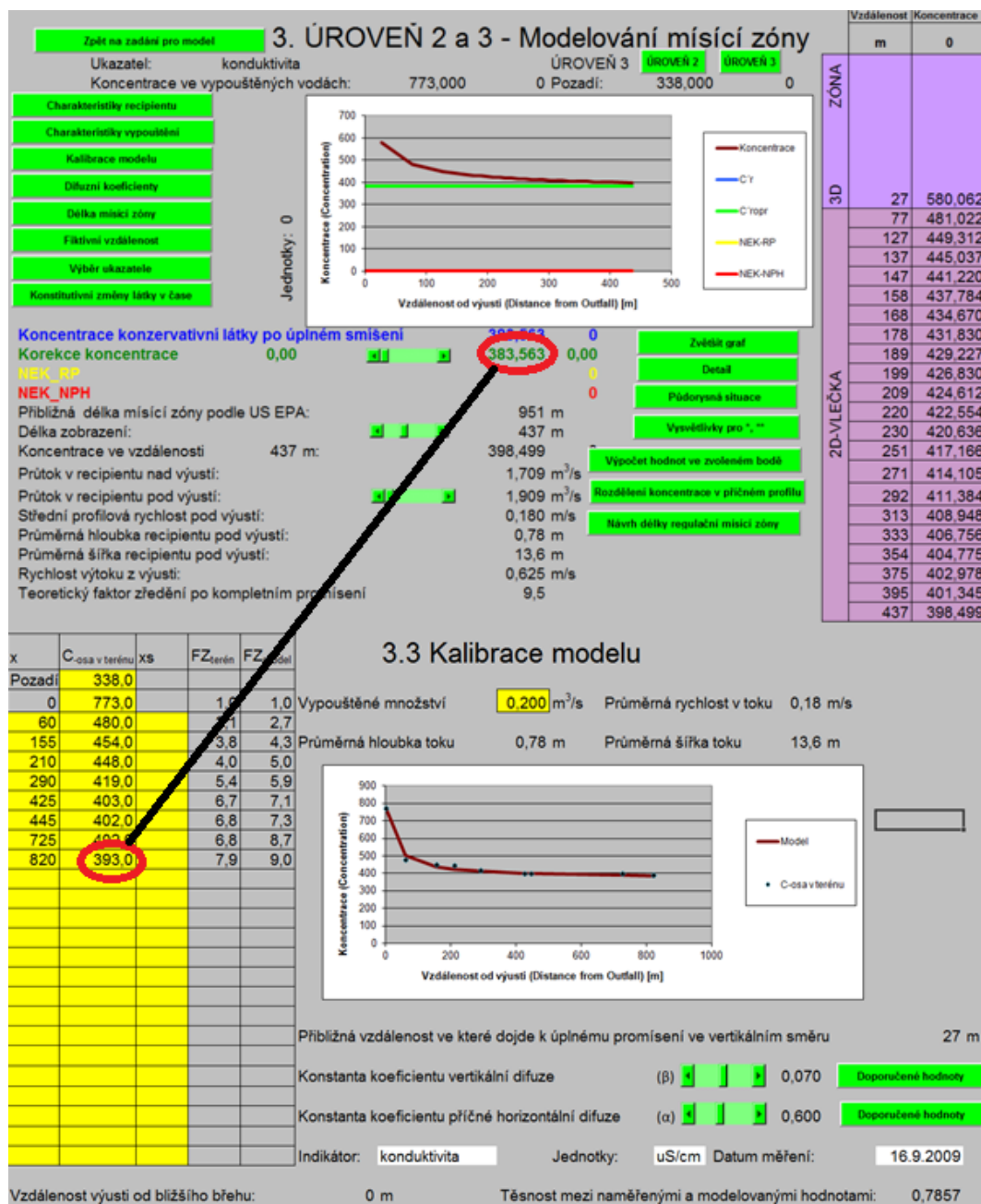
vypouštění. Kalibrační křivka (Obr. 58) zobrazuje průběh  $C_{max}$  vypočtený modelem. V dolní části programového okna se zobrazuje těsnost mezi naměřenými a modelovanými hodnotami. V této práci byly hodnoty koeficientu příčné horizontální difuze  $\alpha$  voleny v rozmezí 0,3–1,0 tak, aby co možná nejlépe odpovídaly charakteru toku v dané lokalitě (koeficient  $\alpha$  je v určité relaci s hodnotou součinitele drsnosti  $n$ ).



Obr. 58 Ukázka kalibrace vymezení mísící zóny (lokalita Opava pod ČOV Opava, 1. měření)

Porovnáním koncentrace resp. konduktivity zjištěné v terénu na konci mísící zóny s hodnotou spočítanou programem CIT bylo často možné zpřesnit průtokové charakteristiky odpadní a říční vody, zvláště pokud byly zjištěny odhadem nebo se měrný profil státní sítě nenacházel v blízkosti studované lokality.

Porovnáním hodnot vypočtené a experimentálně změřené konduktivity (Obr. 59) při dostatečné těsnosti kalibrační křivky je možné kontrolovat správnost naměřených dat, difúzních koeficientů a součinitele drsnosti v případech, kdy není v dané lokalitě směrem po proudu jiný významný zdroj znečištění.



Obr. 59 Ukázka porovnání výsledné koncentrace na konci mísicí zóny mezi terénním měřením a výpočtem modelem CIT (lokalita Opava pod ČOV Opava, 2. měření)

Blízkost experimentálně zjištěné a modelem vypočtené konduktivity (koncové koncentrace) s rozdílem nepřevyšujícím 3 μS.cm<sup>-1</sup> byla prokázána v 59 % měření a na většině lokalit. Jednalo se zvláště o lokality s kratší délkou mísicí zóny. Ve



zbývajících případech byly nalezeny rozdíly (max.  $32 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ). Ty jsou nebo mohou být způsobeny:

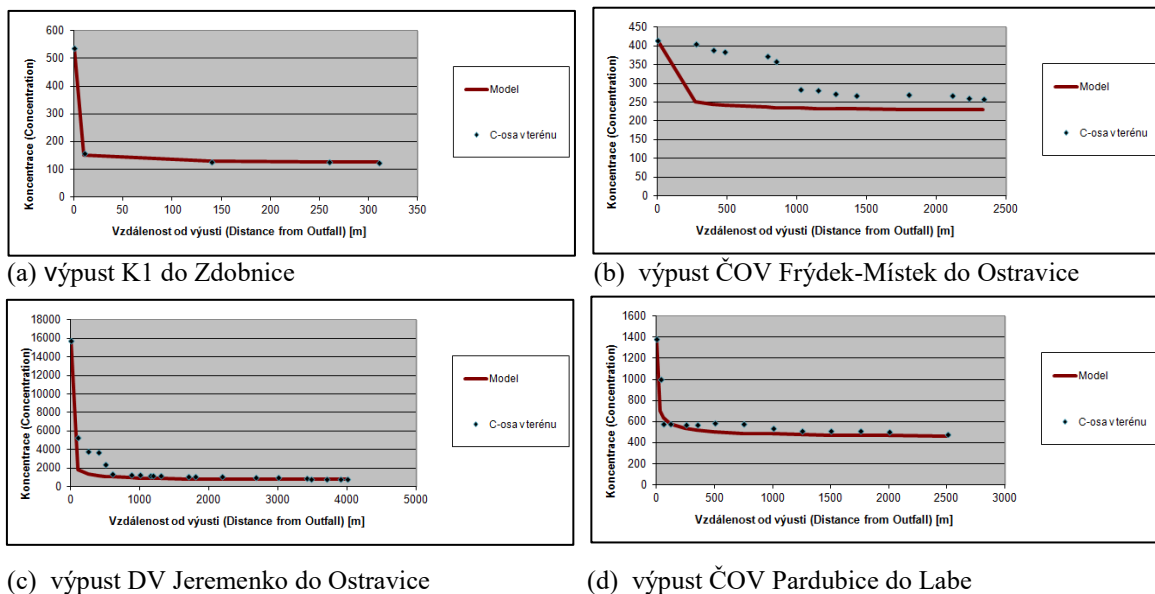
- významnějším nebo více četným vypouštěním z jiných bodových zdrojů znečištění, skrytými výpustěmi (např. v Ostravici v oblasti mísící zóny pod ČOV Frýdek-Místek)
- významnými přítoky, které jsou příčinou zředování posuzované vlečky znečištění (např. ústí Lučiny do Ostravice pod výpustí důlních vod z vodní jámy Jeremenko) nebo naopak jejím obohacováním (ústí Bíliny do Labe nad výpustí ČOV Neštětice)
- ovlivňováním odtoku povrchových vod podzemní vodou v případě toků s vysokým BFI (base-flow indexem) (pozn.: typické střední hodnoty BFI se v ČR pohybují mezi 30 až 40 % základního odtoku podzemních vod na celkovém odtoku z povodí [54]).

Těsnost modelem vypočtené křivky  $C_{max}$  s body měření zobrazené na listu 3.3. Kalibrace modelu byla "opticky" vysoká a ve většině měření byla srovnatelná s těmi, které jsou prezentovány na Obr. 58 a 59. Velmi dobré výsledky s velikostí koeficientu těsnosti kalibrační křivky  $>0,8$  byly dosaženy v 18 % měření ( $n = 40$ ). Ve většině případů byl koeficient těsnosti nižší a nezřídka i záporný (medián těsnosti =  $+0,019$ ). Těsnost je negativně ovlivňována několika faktory:

- Koncentrace  $C_{max}$  v počáteční oblasti mísení neodpovídá průběhu křivky dané výpočtem modelu. To je typické zvláště u málo hlubokých toků s významným objemem vypouštěných odpadních vod (typickým příkladem je řeka Ostravice). K promísení dochází s nižší intenzitou, vlečka znečištění si v počátku udržuje spíše charakter odpadní vody.
- Koncentrace  $C_{max}$  v počáteční oblasti mísení má značně nespojitý charakter s výrazným kolísáním hodnot v daném bodě měření (např. Opava pod ČOV Opava, 2. měření).
- Měření znečištění v příčných profilech neprobíhala spojitě, ale bodově v určitých rozestupech podle šířky toku (v intervalu 0,5 až 5 m mezi jednotlivými body). Tím nemusela být podchycena reálná koncentrace  $C_{max}$ .
- Koncentrace  $C_{max}$  je ovlivněna dalšími významnými vypouštěními nebo přítoky (např. Labe pod ČOV Pardubice).

- V případě, že celá modelem vypočtená křivka probíhá pod nebo nad úrovní naměřených hodnot, zvolená drsnost koryta a/nebo velikost koeficientu horizontální difúze se liší od reálných hodnot (např. Ostravice pod ČOV Frýdek-Místek, 2. měření).

Ukázky dostatečné a nedostatečné těsnosti vypočtených a experimentálně zjištěných hodnot  $C_{max}$  jsou ilustrovány na Obr. 60.



Obr. 60 Příklady dostatečné (a) a nedostatečné těsnosti (b–d) výpočtové křivky s body měření

Model lze kalibrovat tak, aby bylo dosaženo maximální těsnosti, nicméně tím není zaručena vyšší přesnost odhadu rozsahu mísící zóny z výše popsanych důvodů. Lze ji v zásadě doporučit pouze v případě, že se na daném úseku toku nevyskytují významné přítoky, další zdroje znečištění a průběh mísení odpovídá mocninné funkci Fischerova vztahu (32) resp. (44). V ostatních případech se vypočtený rozsah mísící zóny může i značně lišit od reálné skutečnosti. To platí zvláště v případě kalibrace na hodnoty konduktivity, která velmi citlivě reaguje na změny vodního prostředí. Při kalibraci se také osvědčilo nezahrnovat do ní hodnoty  $C_{max}$  z bodů bezprostředně pod zdrojem znečištění (0–100 m), protože se jedná o oblast velmi nehomogenní. Na základě zkušeností z terénu se také doporučuje vyloučit z měření oblasti, kde nedochází k proudění vody (bezprostředně u břehu, v tůni, apod.).

Mezi součinitelem drsnosti  $n$  a koeficientem příčné horizontální difuze  $\alpha$  můžeme najít určitou souvislost: se zvyšující se drsností koryta roste i schopnost difuze znečištění v prostředí (v modelu CIT se chovají oba parametry jako spojitě nádoby).

### 6.2.2 Srovnání vypočtené délky mísící zóny s výsledky terénních měření

Vztah (32) s činitelem  $x$  ve jmenovateli (charakterizujícím vzdálenost od zdroje znečištění) je příčinou velmi pozvolné změny koncentrace na konci mísící zóny (z matematického hlediska až v nekonečnu). Tím je její vypočtený rozsah zpravidla výrazně delší, než je tomu ve skutečnosti. Aby bylo možné přiblížit se výpočtem k reálné skutečnosti, bylo testováno několik možností zkrácení modelové křivky délky mísící zóny. Jedním z možných způsobů je odečtení délky mísící zóny z modelové křivky při vyšší koncentraci, než jaké je dosaženo na konci mísící zóny  $C_{konc}$ . Nejprve byla testována koncentrace zvýšená o 1 %  $C_{konc}$ :

$$C_{konc*} = C_{konc} + 0,01C_{konc} \quad \text{vztah (45)}$$

Tento přístup poskytoval uspokojivé výsledky u většiny lokalit. Jeho nevýhodou však je, že v případě silně znečištěných toků, kdy je konduktivita na konci mísící zóny vysoká (jak v důsledku vysoké pozadřové hodnoty, tak přičínkem posuzovaného vypouštění), dochází k neúměrnému zkrácení délky mísící zóny, čímž tento nástroj ztrácí svůj účel odseparování oblasti nepatrných změn koncentrace na konci mísící zóny.

Proto byl testován jiný přístup navýšení  $C_{konc}$ , a to o koncentraci rovnající se zvolenému procentu přírůstku znečištění v toku vlivem posuzovaného vypouštění. Přírůstek znečištění je definován jako:

$$PZ = \frac{Q_{ov} * C_{ov}}{Q_{ov} + Q_r} \quad \text{vztah (40)}$$

kde je:

$Q_{ov}$  průtok odpadní vody [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$C_{ov}$  koncentrace PZL v odpadní vodě [ $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ ] nebo [ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ]

$Q_r$  průtok v recipientu [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]

Koncentraci  $C_{konc*}$  pak může vyjádřit vztahem:

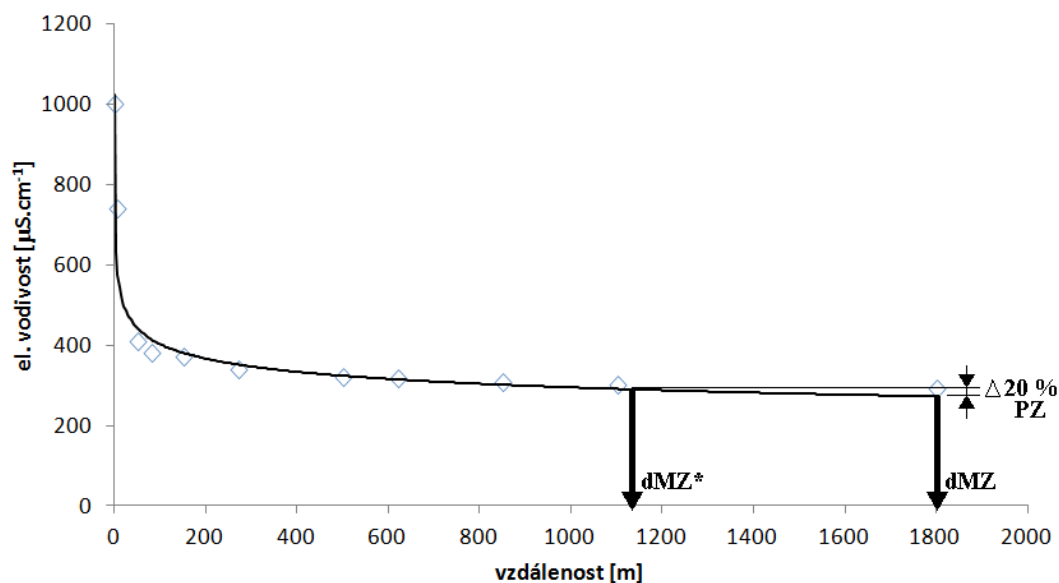
$$C_{konc*} = C_{konc} + aPZ \quad \text{vztah (46)}$$

Velikost konstanty  $a$  byla odstupňována podle velikosti přírůstku znečištění takto:

Tabulka 16: Velikost konstanty  $a$  podle velikosti přírůstku znečištění PZ

Velikost přírůstku znečištění PZ [ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ]	Velikost konstanty $a$ [-]
0,1–100	0,2
100–250	0,1
250–1 000	0,05
> 1 000	0 <sup>1)</sup>

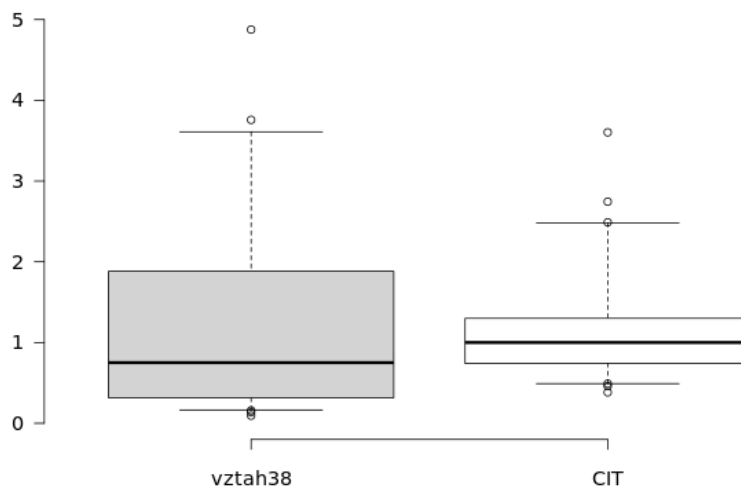
<sup>1)</sup> Konstanta  $a = 0$  je volena i v případě, že modelem vypočtená délka mísící zóny je menší než 100 m bez ohledu na výši přírůstku znečištění.



Obr. 61 Princip zkrácení vypočteného rozsahu mísící zóny programem CIT přičtením zvoleného podílu přírůstku znečištění PZ ke koncové koncentraci  $C_{konc}$  ( $d_{MZ}$  – délka mísící zóny vypočtená;  $d_{MZ*}$  – délka mísící zóny korigovaná podle  $C_{konc*}$ )

Délka mísící zóny podle koncentrace  $C_{konc*}$  byla odečtena v modelu CIT a porovnána s experimentálně zjištěnou hodnotou v terénu. Výsledky jsou souhrnně uvedeny v Příloze I, shoda s experimentálně naměřeným rozsahem mísící zóny na Obr. 62.

Průměrná shoda ze všech vyhodnocených měření ( $n = 42$ ) činila 1,15 a medián shody 1,00, což je velice příznivý výsledek jen zdánlivě. Použitá Cowanova metoda určení celkové drsnosti korigované na průtok v recipientu s odhadem příčné horizontální disperze a zkrácením modelem vypočteného rozsahu mísící zóny podle výše uvedeného postupu představuje shodu s terénními měřeními v intervalu 1. až 3. kvartilu pouze ve 40 % měření (Tab. 17).



Obr. 62 Srovnání shody experimentálně naměřených dat rozsahu mísící zóny s jejím rozsahem vypočteným modifikovaným vztahem (38) a modelem CIT podle  $C_{konc}^*$

Tabulka 17 Poměr shody experimentálně naměřených dat rozsahu mísící zóny s jejím rozsahem vypočteným modifikovaným vztahem (38) a modelem CIT podle  $C_{konc}^*$  vztahem (46)

Statistický parametr	Poměr shody	
	vztah 38	CIT podle $C_{konc}^*$
percentil P95	3,61	2,48
3. kvartil	1,88	1,30
medián	0,75	1,00
1. kvartil	0,32	0,74
percentil P5	0,16	0,49
počet hodnocených měření	45	42

Vyvinutý postup odhadu délky mísící zóny podle  $C_{konc}^*$  je sofistikovanější a přesnější, než použití jednoduchých vztahů (15 – 19) a modifikovaného Fischerova vztahu (38). Do hodnocení byly přitom zahrnuty také ty lokality, které jsou ovlivněny „rušivými vlivy“

(přítoky a/nebo dalšími zdroji znečištění). Nadále však zůstává platná zásada, že predikce délky mísící zóny záleží především na správném určení součinitele drsnosti  $n$  a koeficientu příčné horizontální disperze  $\alpha$ . To je v podmínkách České republiky, kde významnou část vodní sítě tvoří šterkonosné vodní toky, poměrně obtížné. Nezanedbatelné je i subjektivní hledisko při určování těchto koeficientů; záleží na osobní zkušenosti proveditelů.

### *6.3 Určení rozsahu regulační mísící zóny programem CIT na vybraných příkladech*

V předchozím textu byla řešena problematika stanovení délky hydraulické mísící zóny a její srovnání s výsledky terénních měření. Bylo to důležité především pro ověření modelu a verifikaci získaných výsledků. Z hlediska vymezení mísící zóny je stěžejní predikce oblasti (úseku toku), kde jsou překračovány normy environmentální kvality, tj. oblasti, kde se mohou vyskytovat účinky chronické a akutní toxicity na vodní organismy nebo mohou negativně ovlivnit požadovanou jakost na užívání povrchové vody pro odběry za účelem úpravy na vodu pitnou nebo pro zemědělské účely. V tom případě nejsou do programu CIT vkládány údaje o konduktivitě, ale údaje o koncentraci předmětné znečišťující látky (PZL) v odpadní vodě resp. v unikající kapalině vlivem havárie.

Na vypouštění odpadních vod je nutné povolení vodoprávního úřadu, který na každou konkrétní výpusť stanoví limitní objem vypouštění, koncentrační hodnoty (nejčastěji jako přípustnou hodnotu "p" a maximální hodnotu "m") a bilanční hodnoty za stanovené období (zpravidla  $\text{g.s}^{-1}$  a  $\text{t.rok}^{-1}$ ). Koncentrační hodnoty mají být stanoveny maximálně do výše emisních standardů dle Přílohy č. 1 k nařízení vlády č. 61/2003 Sb., v platném znění tzv. kombinovaným přístupem, tj. se zohledněním norem environmentální kvality pro povrchové vody (Pozn.: Toto nařízení bylo novelizováno stejnojmenným předpisem č. 401/2015 Sb. v prosinci 2015 [55]). Povolené koncentrační hodnoty v odpadních vodách by tedy měly zaručit, že zředěním a případným odbouráváním znečištění by v toku měly být v reprezentativním profilu daného vodního útvaru limitní hodnoty jakosti povrchových vod plněny (hodnoty přípustného znečištění a NEK). Nemusí být plněny jen v případě, že

mísící zóna (oblast překračování NEK) do tohoto profilu zasahuje (pokud se Česká republika mísící zóny rozhodne vymezit).

V následujícím textu jsou uvedeny příklady určení a vymezení mísící zóny pro vybraná vypouštění odpadních vod. Jedná se o reálné případy koncentrací a průtoků, z důvodu zachování anonymity však nejsou uváděny názvy právnických osob ani místopis a vodopis těchto lokalit. Soubory s výpočty pomocí modelu CIT jsou uvedeny v elektronické Příloze IV.

### 6.3.1 Určení rozsahu mísící zóny vlivem vypouštění odpadních vod z průmyslového zdroje č. 1

Posuzovaný bodový zdroj znečištění z oboru zpracovatelského průmyslu vypouští odpadní vody do recipientu kontinuálně. Lokalita se nachází v podhorské oblasti, v toku převládá bystrinný charakter proudění. Průtok v recipientu vyjadřuje průtok při  $Q_{330}$ . Za průtok odpadní vody je volen průměrný roční průtok ( $Q_a$ ). Šířka toku je 8 m, hloubka 0,4 m. Drsnost koryta byla odhadnuta Cowanovou metodou, korigovaná na nízký průtokový stav ( $p_6 = 1,9$ ). V této lokalitě byla ověřena hydraulická mísící zóna pomocí konduktivity, činila 590 m. Pravostranný přítok páteřního toku vodního útvaru 90 m pod výpustí není významný.

Zdroj 1	$Q_{\text{rec}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$Q_{\text{ov}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	B [m]	h [m]	$n [-]$	$d_{\text{MZexp}} [\text{m}]$
1. měření	2,130	0,079	8	0,4	0,061	590

Z nebezpečných látek byly posuzovány rtuť a absorbovatelné organické halogeny (AOX), které v koncentračních charakteristikách  $P_{90}$  (v souladu s navrženou metodikou pro vymezení MZ) v odpadní vodě překračovaly normy environmentální kvality. Četnost měření jakosti odpadních vod v kalendářním roce činila 27 u obou parametrů, proto bylo možno vzít pro posuzování období jednoho roku. V případě rtuti se pouze dvě hodnoty vyskytly nad mezí stanovitelnosti, která činila  $0,5 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$  (mez stanovitelnosti byla 10x vyšší, než hodnota NEK-RP nařízení vlády č. 61/2003 Sb., v platném znění [50]). Pro výpočet koncentračních charakteristik byla vzata  $\frac{1}{2}\text{MS}$ . Protože koncentrace  $P_{90}$  v OV byla na úrovni  $\frac{1}{2}\text{MS}$ , bylo rozhodnuto do dalšího výpočtu použít koncentraci  $P_{95}$ . V případě

rtuti předpokládáme, že se v odpadní vodě vyskytuje zcela v rozpuštěné formě (NEK-RP jsou v nařízení vlády č. 61/2003 Sb. vztaženy na rozpuštěnou formu).

Parametr v OV	P <sub>90</sub> [μg.l <sup>-1</sup> ]	P <sub>95</sub> [μg.l <sup>-1</sup> ]	NEK-RP [μg.l <sup>-1</sup> ]	NEK-NPH [μg.l <sup>-1</sup> ]
Hg	0,25	0,8	0,05	0,07
AOX	370	-	25	-

Průtokové a koncentrační charakteristiky byly zadány do modelu CIT – Úroveň 1 k posouzení významnosti zdroje vypouštění (přírůstek znečištění PZ nad 4 % NEK je v souladu s metodikou brán jako významný). PZ pro Hg činil 57 %, pro AOX 53 %, vypouštění obou látek bylo tedy významné.

Průtokové a koncentrační charakteristiky byly následně zadány do modelu CIT – Úroveň 2,3. Koeficient  $\alpha$  příčné horizontální difuze byl zvolen 0,6. Výsledky rozsahu akutní a chronické mísící zóny jsou shrnuty v Tabulce 18 a schematizovány na Obr. 63.

Tabulka 18 Výsledky stanovení rozsahu mísící zóny pro zdroj č. 1 vypočtené modelem CIT

	Jednotka	Hg	AOX
d <sub>MZ</sub> hydrodynamická	[m]	472	472
koncentrace na konci d <sub>MZ</sub>	[μg.l <sup>-1</sup> ]	0,030	13,715
d <sub>MZ*</sub> hydrodynamická	[m]	385	245
koncentrace na konci d <sub>MZ*</sub>	[μg.l <sup>-1</sup> ]	0,031	16,458
d <sub>MZ</sub> akutní toxicity	[m]	38	-
maximální šířka zóny akutní toxicity	[m]	1,5	-
d <sub>MZ</sub> chronické toxicity	[m]	104	83
maximální šířka zóny chronické toxicity	[m]	2,2	2,1
celková délka ÚPV	[m]	28 400	
d <sub>MZ*</sub> regulační	[m]	104	

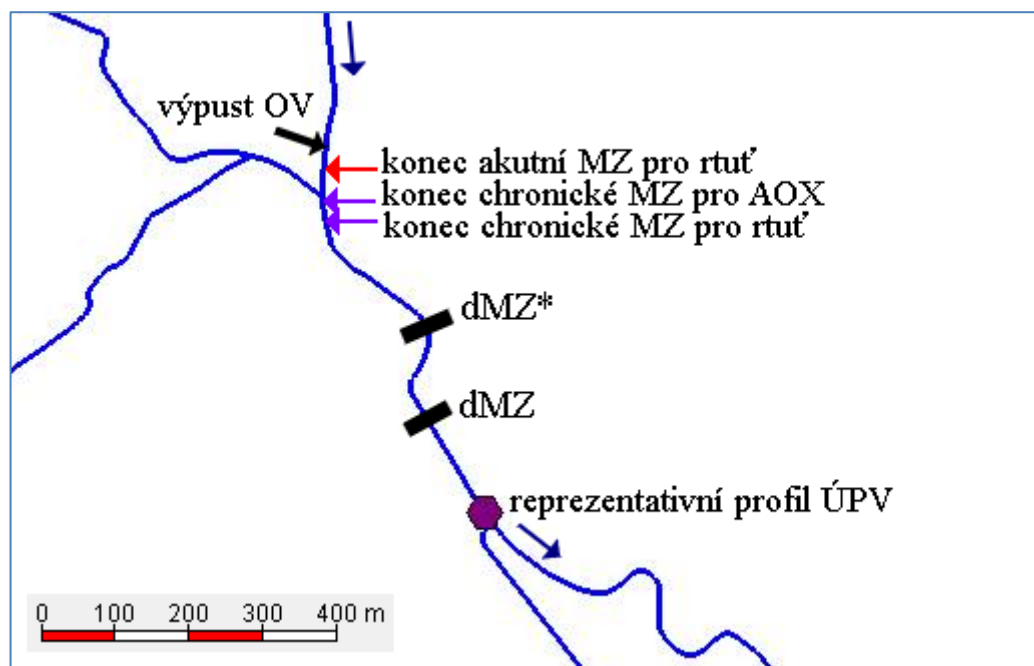
Mísící zóna, kde se mohou projevit účinky akutní toxicity pro vodní organismy, je vymezena pouze pro rtuť, protože NEK-NPH není nařízením vlády pro parametr AOX stanovena. Celková délka mísící zóny je daná nejdelším úsekem toku, kde se mohou projevit účinky chronické toxicity (v tomto případě rtuti). Je to oblast, kde koncentrace polutantu překračují hodnotu NEK-RP (roční průměr). Šířka mísící zóny vypočtená



modelem, kde se mohou projevit toxické účinky, nepřesahuje 2,2 m. Protože průměrná šířka toku činí 8 m, existuje po celé její délce oblast nezasážená vypouštěním. K úplnému promísení povrchové a odpadní vody by mělo dojít 385 m pod zdrojem znečištění ( $d_{MZ^*}$ ).

Regulační mísicí zóna nesmí přesáhnout 1/10 délky útvaru povrchových vod (ÚPV), což je v tomto případě splněno.

605 m pod výpustí se nachází reprezentativní profil daného ÚPV. Pouze při aplikaci nejméně příznivých podmínek vypouštění z posuzovaného zdroje nelze zcela vyloučit občasné překročení NEK v tomto profilu (např. při vypouštění max. naměřené koncentrace  $Hg = 1,29 \mu g.l^{-1}$  a průtoku odpadní vody nad  $0,085 m^3.s^{-1}$ ), nicméně pro hodnocení chemického a ekologického stavu povrchových vod se použije roční průměr z 12 měření, takže dosažení dobrého chemického stavu není předmětným vypouštěním ohroženo. Mísicí zóna z důvodu předběžné opatrnosti by mohla být eventuálně vyhlášena, pokud se potvrdí, že dobrý chemický stav nebyl vlivem posuzovaného vypouštění dosažen. V oblasti mísicí zóny a reprezentativního profilu ÚPV se nenacházejí chráněná území: evidované odběry povrchových vod pro lidskou potřebu, ochranná stanoviště vodních organismů a vyhlášené koupací vody. Tímto není v současnosti potřeba přijímat opatření na zkrácení rozsahu mísicí zóny.



Obr. 63 Schéma rozsahu mísicí zóny pro zdroj č. 1 vypočtený modelem CIT

### 6.3.2 Určení rozsahu mísící zóny vlivem vypouštění odpadních vod z průmyslového zdroje č. 2

Posuzovaný bodový zdroj znečištění z oboru chemického průmyslu vypouští odpadní vody do recipientu kontinuálně. Lokalita se nachází v podhorské oblasti, v toku převládá bystřinný charakter proudění. Průtok v recipientu vyjadřuje průtok při  $Q_{330}$ . Za průtok odpadní vody je volen průměrný roční průtok ( $Q_a$ ). Šířka toku je 26 m, hloubka 0,2 m. Drsnost koryta byla odhadnuta Cowanovou metodou, korigovaná na nízký průtokový stav ( $p_6 = 1,9$ ).

Zdroj 2	$Q_{rec} [m^3 \cdot s^{-1}]$	$Q_{ov*} [m^3 \cdot s^{-1}]$	B [m]	h [m]	n [-]
1. měření	1,956	0,035	26	0,2	0,139

Posuzovány byly ty nebezpečné látky, u kterých alespoň jedna hodnota ze souboru měření překročila limitní hodnoty NEK – jejich přehled je uveden v následující tabulce. V případě kovů Hg a Cd předpokládáme, že se v odpadní vodě vyskytují zcela v rozpuštěné formě (NEK-RP jsou v nařízení vlády č. 61/2003 Sb. vztaženy na rozpuštěnou formu těchto kovů).

Tabulka 19 Přehled posuzovaných látek zdroje č. 2

Parametr v OV	n	$P_{90} [\mu g \cdot l^{-1}]$	NEK-RP $[\mu g \cdot l^{-1}]$	NEK-NPH $[\mu g \cdot l^{-1}]$
Anthracen	1	0,42	0,1	0,4
Kadmium	12	1,029	0,09*	0,6*
Rtuť	12	0,547	0,05	0,07
BaP	4	2,028	0,05	0,1
BbF + BkF	4	1,921	0,03	0,09
Bg,h,iP + Ic,dP	4	2,214	0,002	0,006

n – četnost měření v kalendářním roce

BaP (benzo(a)pyren; BbF (benzo(b)fluoranthén); BkF (benzo(k)fluoranthén); Bg,h,iP (benzo(g,h,i,)perylene); Ic,dP (indeno(c,d)pyren)

\* limitní hodnoty platné pro 3. třídu tvrdosti vody

V případě rtuti se pouze dvě hodnoty vyskytly nad mezí stanovitelnosti, která činila  $0,5 \mu g \cdot l^{-1}$ . V případě kadmia se pouze 3 hodnoty vyskytly nad mezí stanovitelnosti, která

činila  $0,1 \mu\text{g.l}^{-1}$ . Pro výpočet koncentračních charakteristik byla vzata  $\frac{1}{2}\text{MS}$ . Koncentrace  $P_{90}$  v OV je nad úrovní MS, nebylo tedy nutné použít koncentrační charakteristiku  $P_{95}$ . V případě anthracenu byla posuzována jediná naměřená hodnota (správně by měly být min. 4 hodnoty). Hodnoty NEK v Tabulce 19 jsou převzaty z nařízení vlády č. 61/2003 Sb., v platném znění.

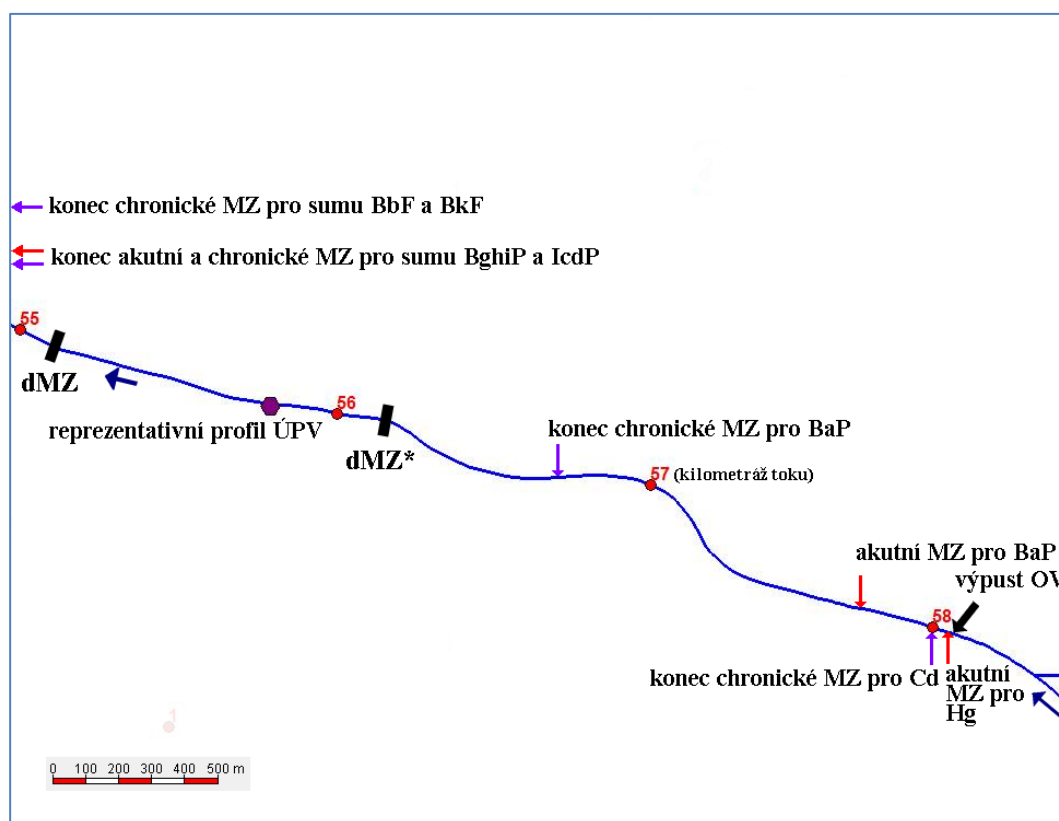
Průtokové a koncentrační charakteristiky byly zadány do modelu CIT – Úroveň 1 k posouzení významnosti zdroje vypouštění (přírůstek znečištění PZ nad 4 % NEK je brán jako významný). PZ pro anthracen činil 8 %, pro Cd 20 %, pro Hg 20 %, pro BaP 72 %, pro sumu BbF+BkF 114 % a pro sumu Bg,h,iP+Ic,dP 1972 %; vypouštění všech těchto látek bylo tedy významné.

Průtokové a koncentrační charakteristiky byly následně zadány do modelu CIT – Úroveň 2,3. Koeficient  $\alpha$  příčné horizontální difuze byl zvolen 0,8. Výsledky rozsahu akutní a chronické mísicí zóny jsou shrnuty v Tabulce 20 a schematizovány na Obr. 64.

Tabulka 20 Výsledky stanovení rozsahu mísicí zóny pro zdroj č. 2 vypočtené modelem CIT

	Jednotka	Hg	Cd	Antr	BaP	BbF+BkF	BghiP+IcdP
$d_{\text{MZ}}$ hydrodynamická	[m]	2938	2938	2938	2938	2938	2938
koncentrace na konci $d_{\text{MZ}}$	$[\mu\text{g.l}^{-1}]$	0,010	0,018	0,008	0,036	0,034	0,040
$d_{\text{MZ}^*}$ hydrodynamická	[m]	1776	1804	1466	1767	1758	1676
koncentrace na konci $d_{\text{MZ}^*}$	$[\mu\text{g.l}^{-1}]$	0,012	0,022	0,010	0,043	0,041	0,048
$d_{\text{MZ}}$ akutní toxicity	[m]	16	< 2	< 2	281	308	> 1676
maximální šířka zóny akutní toxicity	[m]	1,5	< 1	< 1	3,6	4,6	26
$d_{\text{MZ}}$ chronické toxicity	[m]	61	67	< 1	1231	> 1758	> 1676
max. šířka zóny chronické toxicity	[m]	2,5	2,5	< 1	9,1	26	26
celková délka ÚPV	[m]	18 300					
$d_{\text{MZ}^*}$ regulační	[m]	1 804					

Oblast možné akutní toxicity odpadních vod se v případě kadmia a anthracenu omezuje pouze na místo 3D mísení, které je vzhledem k malé hloubce toku velice krátké. V případě rtuti je oblast akutní toxicity o něco delší, ale jde o úzký pás při pravém břehu široký max. 1,5 m. Daleko významnější je oblast možných akutních toxických účinků vlivem polyaromatických uhlovodíků. Pro většinu z nich je akutní zóna dlouhá několik stovek metrů, ale zasahuje jen 19 % šířky toku. To však neplatí pro sumu benzo(g,h,i)perylenu a indeno(c,d)pyrenu, pro něž je hodnota NEK-NPH nejprísnejší ze všech PAU. Na konci regulační mísící zóny se oblast akutní toxicity rozšiřuje na celý příčný profil toku, kde jejich koncentrace 8x překračuje limitní hodnotu nařízení vlády č. 61/2003 Sb., v platném znění.



Obr. 64 Schéma rozsahu mísící zóny pro zdroj č. 2 vypočtený modelem CIT

Chronická mísící zóna se v případě kovů omezuje na několik desítek metrů pod výpustí v šířce do 2,5 m. Chronická mísící zóna pro benzo(a)pyren již činí skoro  $\frac{3}{4}$  délky regulační mísící zóny, avšak větší polovina šířky toku protilehlá vypouštění je nezasažena. To však

neplatí pro poslední dvě skupiny PAU; sumární koncentrace benzo(b)fluoranthenu a benzo(k)fluoranthenu na konci regulační mísicí zóny překračuje NEK-RP 1,4x a sumární koncentrace benzo(g,h,i)perylenu a indeno(c,d)pyrenu dokonce NEK-RP až 20x a rozšiřují se na celou šířku toku.

Délka regulační mísicí zóny nesmí překročit 10 % celkové délky vodního útvaru, což je v tomto případě splněno. Reprezentativní profil se nachází 2 290 m pod výpustí posuzovaného zdroje a cca 500 m od konce regulační mísicí zóny. Normy environmentální kvality pro benzo(g,h,i)perylen a indeno(c,d)pyren budou tedy v reprezentativním profilu překračovány. Z toho důvodu je účelné mísicí zónu vymezit. V oblasti mísicí zóny a reprezentativního profilu ÚPV se nenacházejí chráněná území: evidované odběry povrchových vod pro lidskou potřebu, ochranná stanoviště vodních organismů a vyhlášené koupací vody. Tímto není v současnosti potřeba přijímat opatření na zkrácení rozsahu mísicí zóny.

### **6.3.3 Určení rozsahu mísicí zóny vlivem vypouštění odpadních vod z komunálního zdroje č. 3**

Posuzovaný bodový zdroj znečištění z oboru čištění komunálních odpadních vod s podílem průmyslových odpadních vod vypouští vyčištěné OV do místní drobné vodoteče. Vzhledem k tomu, že objem vypouštěných odpadních vod tvoří kolem 90 % celkového průtoku v této vodoteči a výpust se nachází 2,5 km od ústí vodoteče do páteřního toku útvaru povrchových vod, je ústí této drobné místní vodoteče bráno jako posuzovaný zdroj znečištění pro vymezení mísicí zóny (možná eliminace vypouštěného znečištění v úseku od výpusti z ČOV k ústí vodoteče do páteřního toku se zanedbává).

Cca 400 m pod ústím místní vodoteče resp. posuzovaného zdroje znečištění se do páteřního toku vlévá významný přítok. Tento bod je hranicí tří útvarů povrchových vod (Obr. 65). Lokalita se nachází v nížině, v posuzovaném toku se střídají úseky laminárního a turbulentního proudění. Za průtok v recipientu je brán průtok  $Q_{330}$ , který je platný pro navazující útvar povrchových vod, protože posuzovaný zdroj vypouštění se nachází pouhých 400 m od konce výše položeného vodního útvaru. Za průtok odpadní vody je volen průměrný roční průtok ( $Q_a$ ) v r. 2006. Šířka toku je 38 m, průměrná hloubka 1,24 m.

Drsnost koryta byla odhadnuta Cowanovou metodou, korigovaná na nízký průtokový stav ( $p_6 = 1,5$ ). Experimentálně nebyla mísicí zóna v této lokalitě ověřena.

	$Q_{rec} [m^3.s^{-1}]$	$Q_{ov*} [m^3.s^{-1}]$	$B [m]$	$h [m]$	$n [-]$
1. měření	8,953	1,283	38	1,24	0,051

Posuzovány byly ty nebezpečné látky, u kterých alespoň jedna hodnota ze souboru měření překročila limitní hodnoty NEK (data z r. 2006). V případě kovů Ni a Pb předpokládáme, že se v odpadní vodě vyskytují zcela v rozpuštěné formě (NEK-RP jsou v nařízení vlády č. 61/2003 Sb. vztaženy na rozpuštěnou formu těchto kovů).

Tabulka 21 Přehled posuzovaných látek komunálního zdroje

Parametr v OV	n	$P_{90} [\mu g.l^{-1}]$	NEK-RP $[\mu g.l^{-1}]$	NEK-NPH $[\mu g.l^{-1}]$
AOX	12	305,3	25	-
Nikl	6	55,5	20	60
Olovo	6	47,5	7,2	20,6
Zinek	12	206,1	92	-

n - četnost měření v kalendářním roce

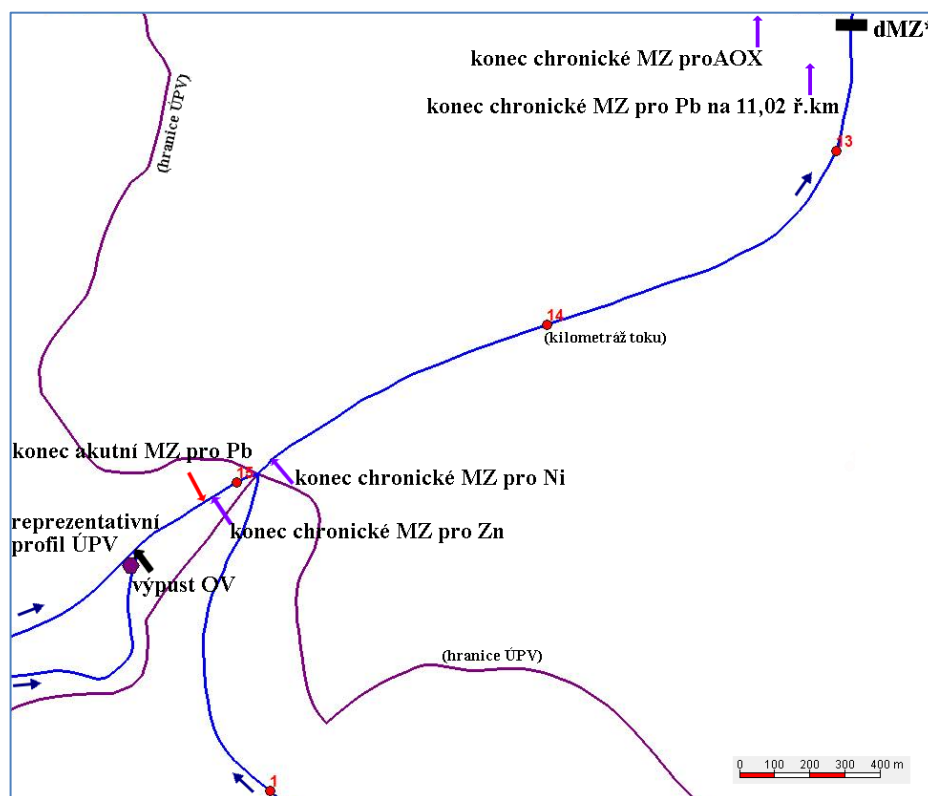
Průtokové a koncentrační charakteristiky byly zadány do modelu CIT – Úroveň 1 k posouzení významnosti zdroje vypouštění (přírůstek znečištění PZ nad 4 % NEK je brán jako významný). PZ pro AOX činil 153 %, pro Ni 35 %, pro Pb 83 %, a pro Zn 28 %; vypouštění všech těchto látek je tedy významné.

Průtokové a koncentrační charakteristiky byly následně zadány do modelu CIT – Úroveň 2,3. Koeficient  $\alpha$  příčné horizontální difuze volen 0,6. Výsledky rozsahu akutní a chronické mísicí zóny jsou shrnuty v Tabulce 22 a schematizovány na Obr. 65.

Akutní mísicí zóna je relevantní pouze v případě vypouštěného olova a celou svojí délkou se podle modelu CIT nachází v útvaru povrchových vod č. 1. Ve skutečnosti ale dosahuje s velkou pravděpodobností až k ústí významného pravostranného přítoku, kde se dostatečně naředí. Průtok posuzovaného toku  $Q_{330}$  zadaný do modelu CIT totiž zohledňuje i  $Q_{330}$  významného pravostranného přítoku (protože mísicí zóna se nachází větší částí v navazujícím ÚPV č. 2 pod soutokem obou řek). Pro AOX a zinek nejsou NEK-NPH nařízením stanoveny, koncentrace niklu v OV ( $P_{90}$ ) NEK-NPH nedosahuje.

Tabulka 22 Výsledky stanovení rozsahu mísicí zóny pro komunální zdroj vypočtené modelem CIT

	Jednotka	AOX	Ni	Pb	Zn
$d_{MZ}$ hydrodynamická	[m]	4 985	4 985	4 985	4 985
koncentrace na konci $d_{MZ}$	[ $\mu\text{g.l}^{-1}$ ]	43,752	7,954	6,807	29,536
$d_{MZ^*}$ hydrodynamická	[m]	2 768	2 768	2 768	2 768
koncentrace na konci $d_{MZ^*}$	[ $\mu\text{g.l}^{-1}$ ]	52,502	9,545	8,168	35,443
$d_{MZ}$ akutní toxicity	[m]	-	-	262	-
maximální šířka zóny akutní toxicity	[m]	-	-	5,8	-
$d_{MZ}$ chronické toxicity	[m]	> 2 768	494	> 2 768	(281) 400
maximální šířka zóny chronické toxicity	[m]	38	7,3	38	6
celková délka ÚPV (č.1)	[m]	6 570			
celková délka navazujícího ÚPV (č.2)	[m]	14 950			
$d_{MZ^*}$ regulační	[m]	350 + 1 495 = 1 845			



Obr. 65 Schéma rozsahu mísicí zóny pro komunální zdroj znečištění vypočtený modelem CIT

Chronická mísící zóna pro zinek a nikl dosahuje několik stovek metrů, v případě niklu částečně přesahuje do útvaru povrchových vod č. 2. Chronická mísící zóna pro zinek ve skutečnosti dosahuje až k ústí významného pravostranného přítoku, kde se dostatečně naředí. V případě parametrů AOX a olova však není limitních hodnot NEK-RP dosaženo ani na konci regulační a hydrodynamické ( $d_{MZ*}$ ) mísící zóny. Šířka chronické zóny AOX zahrnuje celý příčný profil toku. U olova k úplnému promísení dojde v 11,02 ř. km (4 340 m pod zdrojem znečištění) v oblasti mezi  $d_{MZ}$  a  $d_{MZ*}$ .

Reprezentativní profil ÚPV č. 1 se dle databáze HEIS VÚV nachází těsně nad posuzovaným místem vypouštění (Obr. 65), takže by tímto vypouštěním neměl být ovlivněn. Regulační mísící zóna byla čistě teoreticky vymezena tak, že k úseku toku, který zbývá po konec útvaru povrchových vod č. 1 (350 m) byl přičten úsek odpovídající 1/10 navazujícího útvaru č. 2. Tím je dán maximální možný rozsah zóny 1 845 m. Pokud by se reprezentativní profil ÚPV č. 1 nacházel pod místem posuzovaného vypouštění, stačilo by, aby byl za regulační mísící zónu vyhlášen pouze úsek 350 m toku po konec ÚPV č. 1. Pokud ale není vypouštěním reprezentativní profil ÚPV č. 1 ovlivněn, není potřeba mísící zónu vyhlášovat, protože reprezentativní profil ÚPV č. 2 se nachází ve vzdálenosti výrazně větší než je konec regulační mísící zóny.



## 7. Využití mísící zóny pro havarijní management na tocích

Znečištění, které se do povrchových vod dostává, se s povrchovou vodou mísí postupně a tak nemusí i na poměrně dlouhém úseku toku negativně ovlivnit jeho jakost v plné jeho šíři. Bylo to potvrzeno jak terénním měřením, tak výsledky modelových pokusů. Možná koexistence ovlivněné a neovlivněné zóny v toku v oblasti mísící zóny je podstatná především z důvodů:

- ochrany vodních organismů, zvl. těch, které mohou migrovat
- managementu zvládnutí havárií nebo predikce jejich možných dopadů
- managementu vzorkování relevantních matric za účelem určení rozsahu poškození vodního prostředí následkem havárie.

Samozřejmě vždy záleží na konkrétních podmínkách v dané lokalitě.

Havarijní úniky nebezpečných látek z průmyslových zařízení, výrobních areálů nebo vlivem trestné činnosti se mohou i přes přijímaná preventivní opatření dostat do kanalizace a následně do povrchových vod. Na stránkách České inspekce životního prostředí jsou zveřejňovány stručné přehledy významných havárií na vodních tocích v jednotlivých letech [56]. V případech, kdy únik polutantu není náhlý, probíhá po určitou dobu, je možno určit množství uniklé látky a odhadnout její koncentraci před vtokem do toku, je Český imisní test využitelný i jako nástroj havarijního managementu. Musí být při tom splněny následující podmínky:

1. nejedná se o únik ropných látek (PHM, oleje, mazut), které se s vodou nesmáčejí,
2. únik trvá minimálně po dobu, která se rovná době dotoku znečištění do konce mísící zóny ( $d_{MZ}$  resp.  $d_{MZ*}$ ), protože model CIT byl vyvinut pro stacionární podmínky vypouštění znečištění.

V případech proběhnuté havárie nebo při tvorbě kritických scénářů v rámci predikce možných následků havárie je možné modelovat pomocí CIT tvar a rozsah mísící zóny zasaženého úseku toku. Toto je zvláště důležité v případech, kdy po proudu od místa úniku existují chráněná území (koupací oblasti, ochrana vodních organismů) nebo místa sloužící pro odběr povrchové vody (pro závlahu, pro úpravu na vodu pitnou).

Při řešení následků havárií na tocích jsou odebírány vzorky vod. Na rozdíl od havárií ropných látek, kdy je možné snadno vizuálně rozlišit zasaženou a nezasazenou oblast, nemusí být toto zřejmé u ostatních chemických látek. Znalost možného tvaru mísící zóny pak může být přínosem při správné volbě vzorkovacích míst a interpretaci získaných výsledků analytických stanovení zájmových polutantů. V následující části bude metodický postup určení mísící zóny ověřen jako možný nástroj havarijního managementu.

Následující příklady vycházejí z konkrétních událostí, které nastaly. Byla přitom využita veřejně přístupná data o havarijním úniku. Část nezbytných dat pro modelování, která chybí (nebyla zjišťována nebo nejsou publikována), byla odhadnuta nebo adekvátně navržena. Proto získané výsledky nelze interpretovat nebo vyvozovat z nich další závěry. Účelem je na příkladech modelovat tvar vlečky znečištění a určit koncentraci na konci mísící zóny pro havarijní úniky, které jsou testovány. Šíření znečištění za hranici mísící zóny se pak uskutečňuje jinými dostupnými modelovacími nástroji (např. ALAMO) a nejsou předmětem této disertační práce.

### *7.1 Havarijní únik kyanidů z podniku Lučební závody Draslovka, a.s. Kolín*

Příčinou havárie byl nežádoucí únik koncentrovaných silně toxických odpadních kyanidových vod z Lučebních závodů Draslovka, a.s. Kolín (LZD), způsobený selháním lidského faktoru v kombinaci s technickou závadou na signalizačním zařízení. Nepříznivý vliv měly i klimatické podmínky – zejména silné mrazy (cca minus 15°C), které jednak způsobily intenzivnější akutní toxické působení kyanidů na ryby a také zpomalily přirozené odbourávání kyanidů ve vodách Labe.

K úniku kyanidů z areálu LZD došlo v ranních hodinách 9.1.2006. Podle výsledků posudku soudního znalce a následně podle sdělení ČIŽP, uniklo z LZD, a.s. Kolín ve 30 m<sup>3</sup> odpadních vod množství 600 kg celkových kyanidů, z toho 100 kg kyanidů v toxické formě. Havárie nebyla včas nahlášena. První hlášení o úhynu ryb obdržela ČIŽP až ve čtvrtek 12.1.2006 ráno, a to z Poděbrad a Nymburka. Byly odebrány vzorky vody a ryb k analýze. Výsledky analýz v pátek 13.1. prokázaly zvýšený obsah celkových kyanidů (CN<sub>celk</sub>) a následně i toxických kyanidů (CN<sub>tox</sub>). Maximální nalezená koncentrace CN<sub>tox</sub> v Nymburce činila 0,316 mg.l<sup>-1</sup>. [57]

Kyanidy jsou prudké jedy, ve vodě snadno rozpustné (KCN 63 g/100 ml při 0°C [58]), které vzdušnou vlhkostí a reakcí s oxidem uhličitým mohou uvolňovat plynný kyanovodík. Z celkového množství uniklých kyanidů a objemu odpadních vod byla vypočtena jejich možná koncentrace v době úniku: 20 000 mg.l<sup>-1</sup> CN<sub>celk</sub>, z toho 3 333 mg.l<sup>-1</sup> CN<sub>tox</sub>. Případné nařazení v podnikové kanalizaci další výpočty neovlivní.

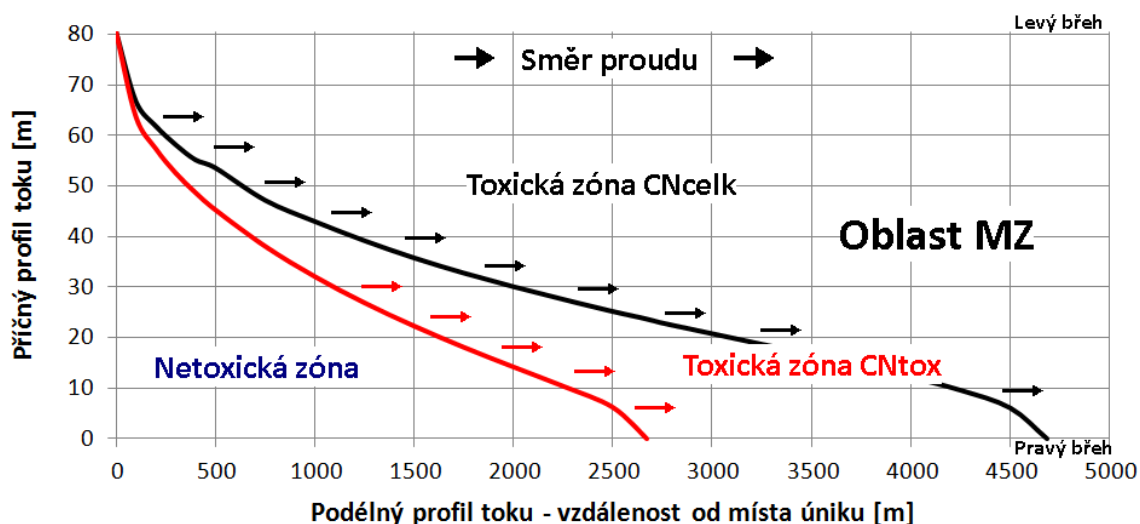
Průtokové poměry v Labi nebyly uvedeny; do dalších výpočtů je uvažován průměrný roční průtok  $Q_a$  publikovaný v druhém Plánu dílčího povodí Horního a Středního Labe pro Nymburk (74,9 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>), od kterého byl odečten průtok Cidliny (pravostranný přítok Labe) v profilu Cidlina-Sány ( $Q_a$  4,94 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) [59]. Šířka toku Labe se v zájmovém úseku pohybuje od 65 do 108 m s průměrem 80,6 m. S ohledem na vodní stav ve stanici Labe -Nymburk byla odhadnuta průměrná hloubka a rychlost proudění. Součinitel drsnosti koryta byl odhadnut Cowanovou metodou. Koeficient příčné horizontální difuze  $\alpha$  byl zvolen 0,5.

	$Q_{rec}$ [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	$Q_{ov}$ [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	B [m]	h [m]	$n$ [-]	$\alpha$ [-]
vstupní data pro CIT	70,098	0,007	80,6	2,23	0,034	0,5

Průtoku unikající kapaliny s obsahem kyanidů byl odhadnut na základě koncové koncentrace  $C_{konc}$  pro CN<sub>tox</sub> na konci mísící zóny tak, aby mírně převyšovala nalezenou max. koncentraci zjištěnou inspekčním orgánem v profilu Labe-Nymburk. Výsledky jsou shrnuty v následující tabulce.

Tabulka 23 Výsledky stanovení rozsahu mísící zóny pro havarijní únik kyanidů z LZ Draslovka, a.s. Kolín vypočtené modelem CIT

	Jednotka	CN <sub>celk</sub>	CN <sub>tox</sub>
$d_{MZ}$ hydrodynamická	[m]	24 791	24 791
$d_{MZ*}$ hydrodynamická	[m]	24 791	24 791
začátek toxické zóny u protilehlého břehu	[m]	4 685	2 670
šířka toxické zóny	[m]	80,6	80,6
$C_{konc}$ na konci MZ	[mg.l <sup>-1</sup> ]	1,997	0,333
NEK-RP	[mg.l <sup>-1</sup> ]	0,3	0,005
míra překročení NEK-RP na konci MZ	[-]	6,7 x	67 x



Obr. 64 Schéma tvaru mísicí zóny pro havarijní únik kyanidů z LZ Draslovka, a.s. Kolín vypočtený modelem CIT

Mísicí zóna v délce přes 24 km končí cca 2 kilometry před Nymburkem. Oblast nezasazená havárií (nepřekračující NEK-RP) na protilehlém břehu končí ve vzdálenosti 2 670 m v případě toxických kyanidů a 4 685 m v případě celkových kyanidů. Míra překročení NEK byla vyhodnocena dle nařízení vlády č. 61/2003 Sb., v platném znění [50] (v době havárie byly platné o něco "měkčí" standardy kvality). Předpokládaná dotoková doba znečištění v délce stanovené mísicí zóny byla odhadnuta na 17,6 hodin.

## 7.2 Modelování mísicí zóny vlivem potenciálního havarijního úniku nitrobenzenu v podniku BorsodChem MCHZ, s.r.o. Ostrava

Dne 27. 01. 2014 v prostoru výroby anilinu výrobního bloku A společnosti BorsodChem MCHZ, s.r.o. došlo v důsledku destrukce armatury k úniku cca 1 tuny nitrobenzenu na nepevný terén a částečně do dešťové kanalizace. Příznivou shodou okolností byl únik včas zjištěn a pomocí havarijního uzávěru bylo zabráněno k úniku nitrobenzenu do řeky Odry. Následnou kontrolní činností ČIŽP nebylo porušení předpisů prokázáno, nicméně jako preventivní opatření se společnost BorsodChem MCHZ, s.r.o. zavázala instalovat dálkově ovládané havarijní uzávěry vybraných tras dešťové kanalizace. [56]

Modelem CIT byla testována mísicí zóna pod případným havarijním únikem nitrobenzenu do řeky Odry dešťovou kanalizací, pokud by nastal. Nitrobenzen  $C_6H_5NO_2$  je bezbarvá až

nažloutlá jedovatá, ve vodě málo rozpustná hořlavá kapalina. Je středně toxický pro vodní organismy, může vyvolat dlouhodobé nepříznivé účinky ve vodním prostředí. Rozpustnost ve vodě činí  $0,19 \text{ g.l}^{-1}$  (při  $20^\circ\text{C}$ ) a je těžší než voda ( $\rho = 1,199 \text{ g.cm}^{-3}$ ) [60]. Na rozpuštění deklarovaného úniku by bylo potřeba  $5,263 \text{ tis. m}^3$  vody.

Dešťová kanalizace je svedena do odvodňovacího kanálu vedoucího kolem průmyslového areálu souběžně s řekou Odrou. Jeho vyústění do recipientu s předřazeným koncovým objektem s protihavarijní funkcí je lokalizováno těsně pod Lhoteckým jezem (14,934 ř. km). Pokud budeme předpokládat, že do řeky by se dostal již jen nitrobenzen rozpuštěný ve vodní fázi, jeho koncentrace v havarijní vodě by činila  $190.10^3 \mu\text{g.l}^{-1}$ .

Pro výpočet vlečky znečištění byly použity hydrologické charakteristiky dřívějšího proměření mísící zóny pod tímto zdrojem (kapitola 4.1.4). Součinitel drsnosti koryta byl odhadnut Cowanovou metodou. Koeficient příčné horizontální difuze  $\alpha$  byl zvolen 0,5.

	$Q_{\text{rec}} [\text{m}^3.\text{s}^{-1}]$	$Q_{\text{ov}} [\text{m}^3.\text{s}^{-1}]$	B [m]	h [m]	$n [-]$	$\alpha [-]$
2. měření	10,13	0,099	41,0	1,30	0,029	0,5

Od místa úniku nitrobenzenu byly vymezeny celkem 3 oblasti:

- oblast překročení NEK-RP ( $3 \mu\text{g.l}^{-1}$ ) nazvaná jako oblast možných toxických účinků na vodní organismy
- oblast chronické toxicity na vodní organismy na základě publikovaného nejcitlivějšího organismu: *Daphnia magna* (20-d NOEC)  $1,9 \text{ mg.l}^{-1}$  (test  $\text{EC}_{50}$  pro reprodukci  $10 \text{ mg.l}^{-1}$ ) [61]
- oblast akutní toxicity na vodní organismy na základě publikovaného nejcitlivějšího organismu: *Daphnia magna* (24 až 48-h  $\text{LC}_{50}$ )  $24 \text{ mg.l}^{-1}$  [61].

Poznámka: Limitní hodnoty pro akutní a chronické toxické účinky nezohledňují postup odvození norem environmentální kvality podle směrnice 2000/60/ES, kdy podle rozsahu dat o ekotoxicitě a použité metodě zkoušky je toxický účinek pro nejcitlivější organismus dělen příslušným bezpečnostním faktorem.

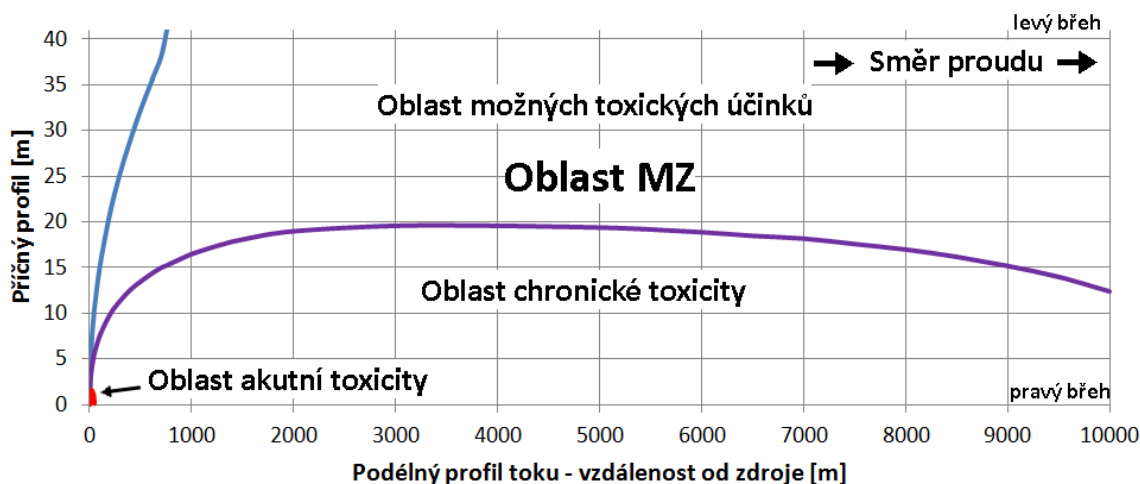
Výsledky rozsahu mísící zóny a oblastí ekotoxických účinků jsou shrnuty v následující tabulce.

Tabulka 24 Výsledky stanovení rozsahu mísící zóny pro modelový havarijní únik nitrobenzenu z

BorsodChem MCHZ, s.r.o. Ostrava vypočtené modelem CIT

	Jednotka	Nitrobenzen
$d_{MZ}$ hydrodynamická	[m]	10 045
$d_{MZ*}$ hydrodynamická	[m]	-
začátek toxické zóny u protilehlého břehu	[m]	755
šířka toxické zóny	[m]	41
$C_{konc}$ na konci MZ	[ $\mu\text{g.l}^{-1}$ ]	1 857
délka zóny chronické toxicity	[m]	0 - 10 045
max. šířka zóny chronické toxicity	[m]	19,6
délka zóny akutní toxicity	[m]	0 - 49
max. šířka zóny akutní toxicity	[m]	1,5
NEK-RP	[ $\mu\text{g.l}^{-1}$ ]	3
míra překročení NEK-RP na konci MZ	[-]	625 x

Oblast překročení NEK-RP na protilehlém břehu se projeví po 755 m od bodu úniku směrem po proudu. Oblast chronické toxicity pro bezobratlé a ryby zasahuje max. do  $\frac{1}{2}$  šířky toku, což je důležité pro ryby, které mohou procházet méně zasaženou oblastí u protilehlého břehu. Zóna akutní toxicity pro bezobratlé a ryby je krátká (max. 49 m) a drží se u pravého břehu. Dotoková oblast v délce mísící zóny byla vypočtena na 14,7 hodin. Pokud budeme předpokládat postupné vymývání a rozpouštění nitrobenzenu v dešťové kanalizaci a v několik set metrů dlouhém odvodňovacím příkopu, při průměrném vypouštění  $100 \text{ l.s}^{-1}$  by 1 tuna této závadné látky unikala po dobu 14,6 hodin (při  $20^\circ\text{C}$ ). Pokud by únik nastal v zimních měsících, množství rozpuštěného nitrobenzenu v odpadních vodách by bylo výrazně menší, probíhal by tedy po delší časový úsek. Koncový objekt na odvodňovacím příkopu by eliminoval nebo redukoval případné strhávání a transport nerozpuštěné fáze této olejovité kapaliny do toku.



Obr. 65 Schéma tvaru mísící zóny pro havarijní únik nitrobenzenu z BorsodChem MCHZ, s.r.o. Ostrava vypočtený modelem CIT

### 7.3 Využití predikce tvaru mísící zóny pro havarijní plánování

Díky predikci tvaru mísící zóny a koncentrace zájmové nebezpečné látky v libovolném místě v rámci této zóny je modelem CIT možno určit rozsah možného akutního a chronického účinku na vodní organismy směrem po proudu od místa úniku. Vzhledem k tomu, že k mísení v toku dochází postupně a oblast zasažená a oblast nezasazená havárií mohou vedle sebe koexistovat na poměrně dlouhém úseku toku (včetně nehomogenity koncentrací), je neméně důležité optimalizovat vzorkovací místa pro odběr kontrolních vzorků při hodnocení důsledků skutečné nebo potenciálně možné havárie na tocích.

Z analýzy existujících havarijních plánů provedených v rámci projektu OPTIZON [62] vyplývá, že se v nich vyskytují pouze fráze obecné povahy (např. že může dojít k ohrožení životního prostředí, případně determinace, kterých jeho složek životního prostředí), bez řádných relevantních dat či konkrétních údajů.

Proto je pro potřeby havarijního managementu navrhováno využití poznatků této práce.

Spatřuji jej především ve dvou aspektech:

- A. Doplnění vnějšího havarijního plánu o vybrané hydrologické charakteristiky účelné pro modelové vymezení únikem zasažené části toku: průtokové poměry ( $Q_a$ ,  $Q_{330}$ ,  $Q_{355}$ ), hloubka a šířka toku pro tyto vodní stavy, dotoková doba do vybraných lokalit.
- B. Vytvoření scénářů potenciálně možných havarijních úniků v zájmových subjektech pro vybrané polutanty vhodné pro modelování pomocí modelu CIT (např. na podnět vodoprávních úřadů s ohledem na chráněná území vázaná na vodní prostředí nebo ochranu obyvatelstva).
- C. Využití kontinuálního monitorování fyzikálního parametru – konduktivity vypouštěných odpadních vod a povrchové vody za účelem zajištění včasného varování v důsledku havarijního úniku.

Takto navržená opatření by mohla zvýšit připravenost pracovníků podniku pověřených zvládání havarijních stavů a tím snížit možný negativní dopad na vodní prostředí v jejich bezprostředním okolí. Díky predikci tvaru mísící zóny by mohla být optimalizována vzorkovací místa pro odběr vzorků vod kontrolními orgány při hodnocení důsledků havárie směrem po proudu (downstream) a rozsah možného akutního a chronického poškození vodního prostředí.

Další z možností využití je zpracování scénářů pro potřeby správců vodních toků (podniky Povodí, s.p.), které jsou koncovými uživateli jak certifikované metodiky pro vymezení mísících zón, tak i modelu CIT.

Elektrická vodivost neboli konduktivita je dostatečně citlivou, levnou a operativní metodou, vypovídající o určité "jakosti" vody v reálném čase. Aplikace měřících sond je možná jak v podnikové kanalizační síti, tak i v povrchové vodě (nad a pod výpustí). Předem definované skokové změny tohoto parametru by pak mohly upozornit na možný problém a v opodstatněných případech automaticky iniciovat navazující procesy k zamezení havarijního úniku.

Tato problematika a možnost pro zlepšení havarijního managementu byla prezentována a publikována v rámci pořádaných konferencí SGEM v letech 2011–2012 (viz Kapitola 9).



## 8. Přínosy disertační práce a závěr

Přínosem a hlavním výstupem disertační práce je ucelený metodický přístup k problematice vymezování mísících zón na tocích v podmínkách České republiky, který byl podpořen experimentálním ověřováním mísící zóny na rozličných typech toků v ČR. Mísící zónou se přitom rozumí oblast bezprostředně navazující na místo zdroje znečištění – havarijního úniku nebo vypouštění, kde koncentrace v příčném profilu toku není spojitá. Mísící zóna byla ověřována na tocích různé šířky (od 1 do 110 m) a hloubky (od 0,1 do 3 m), v podhorských oblastech i nížinách a s různorodým charakterem proudění a substrátem koryta, resp. součinitelem drsnosti.

Pro experimentální ověřování hydraulické mísící zóny byla zvolena metoda měření konduktivity (elektrické vodivosti) vody přenosným multimetrem in situ v odpadní a povrchové vodě. Tato metoda je dostatečně citlivá, přesná, rychlá, cenově přijatelná a v terénu proveditelná. Konec mísící zóny je dán minimálním rozdílem konduktivity pod posuzovaným zdrojem znečištění. Obecně lze říci, že rozsah mísící zóny roste s šířkou toku a i v podmínkách České republiky může být našich největších toků významný (až několik kilometrů).

Pro predikci délky mísící zóny byly nejprve testovány jednoduché výpočetní vztahy několika zahraničních autorů, kteří se danou problematikou zabývali. Tyto vztahy byly odvozeny na základě terénních měření v tocích nebo v laboratorních podmínkách. Byla vyhodnocena těsnost výsledků získaných výpočtem s výsledky experimentálních měření. Nejvyšší shody bylo dosaženo použitím vztahu Kilpatricka (vztah 16), která v průměru ze všech měření ( $n = 45$ ) činila 0,90. Nicméně je třeba poznamenat, že těsnosti v intervalu 0,9–1,2 vyhověla pouze 4 měření a těsnosti v intervalu 0,5–2,0 vyhovělo 18 měření. Byl učiněn pokus zpřesnění výsledků modifikací Fischerova vztahu (vztah 38), pomocí kterého bylo dosaženo mírně lepší shody s experimentálně ověřeným rozsahem mísící zóny: v průměru 1,33; z toho v intervalu 0,9–1,2 celkem 5 měření a v intervalu 0,5–2,0 celkem 19 měření ( $n = 45$ ). Součinitel drsnosti koryta byl odhadnut Cowanovou metodou s tím, že do vztahu pro výpočet celkové drsnosti byl přidán člen zohledňující průtok v toku (vztah 37). S nižším průtokem, resp. hloubkou (blízkým  $Q_{330}$  až  $Q_{355}$ ) se totiž výrazněji uplatňuje

drsnost koryta, pokud neuvažujeme případy povodňových průtoků provázených jeho vybřežením.

Metodický postup pro vymezení mísící zóny v tocích (pro povrchové vody tekoucí) je založen na víceúrovňovém přístupu dle doporučení Evropské komise [48]. Postupuje od jednoduchého posouzení je složitějším podle toho, zda je zdroj znečištění významný, a dále s ohledem na přijatelnost rozsahu mísící zóny, tj. zda není potřeba přijímat opatření na její omezení. Mísící zóna podle této metodiky vymezuje oblast možného překračování norem environmentální kvality v toku. Je omezena svým rozsahem na max. 1/10 délky útvaru povrchových vod nebo na 1 000 m v případě útvarů, jejichž páteční tok je kratší než 10 km. Z toho důvodu je potřeba důsledně rozlišovat mísící zónu hydrodynamickou, mísící zónu s překračováním zákonných limitů pro přípustné znečištění povrchových vod a mísící zónu regulační, tj. takovou, kterou určí kompetentní orgán. Zpracovaná metodika byla předána koncovým uživatelům (státním podnikům Povodí) v září 2012 a certifikována Ministerstvem životního prostředí v dubnu 2014.

Pro účely modelování mísící zóny byl zvolen software Český imisní test (CIT), vyvinutý ve VÚV TGM, v.v.i. Je řešen jako vícevrstevný modul, který umožňuje přístup od jednoduchého posouzení k víceparametrickému. Výpočetní řešení vychází z obecných a ověřených poznatků hydrodynamiky. Základem výpočtu je tzv. Fischerova rovnice, která je hojně využívána v anglo-americké oblasti (např. v programu RIVPLUME); její vhodnost pro podmínky toků ČR byla ověřována v kapitole 6.1. Umožňuje predikovat tvar vlečky znečištění, oblast možných akutních a chronických účinků na vodní organismy a koncentraci polutantů v libovolném bodě a na konci mísící zóny. Rozsah mísící zóny vypočtený pomocí tohoto programu byl srovnán s výsledky experimentálních měření. Před tím však byl navržen postup na zkrácení hydrodynamické mísící zóny vypočtené modelem CIT v oblasti, kde je již změna koncentrace na konci mísící zóny velmi malá. Těsnost shody se skutečným rozsahem mísící zóny činila v průměru 1,15 (medián 1,00); z toho v intervalu 0,9–1,2 celkem 7 měření a v intervalu 0,5–2,0 celkem 34 měření ( $n = 42$ ). Výsledky těsnosti výsledků rozsahu mísící zóny výše uvedenými výpočtovými postupy s jejich terénním ověřením pomocí bodového hodnocení deklaruje následující tabulka.

Tabulka 25 Vyhodnocení shody experimentálně naměřených dat rozsahu mísicí zóny a hodnot jejich rozsahu vypočtených podle vztahů (15–19, 38) a modelem CIT na  $C_{konec}^*$ 

Kritéria shody	Počet bodů						
	Fischer	Kilpatrick	Yotsukura	Sanders	Ruthven	vztah (38)	CIT- $C_{konec}^*$
0,9–1,2	2	4	1	0	3	5	7
0,5–0,89	1	7	9	0	4	7	13
1,21–2,0	8	7	4	1	5	7	14
<b>Celkem bodů</b>	<b>13</b>	<b>22</b>	<b>15</b>	<b>1</b>	<b>15</b>	<b>24</b>	<b>41</b>

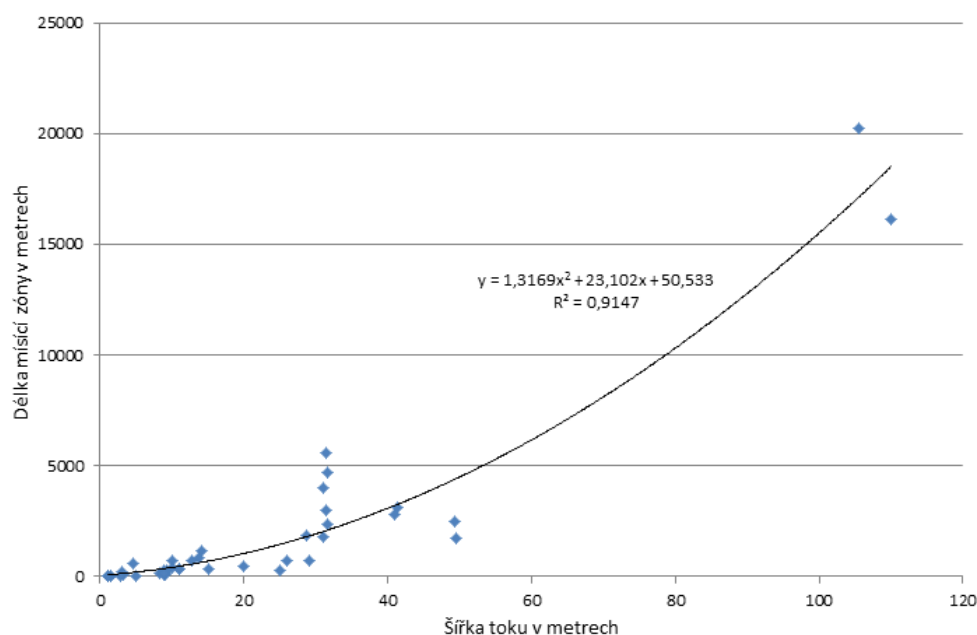
Shoda mezi vypočteným rozsahem mísicí zóny a experimentálním zjištěním není obecně příliš velká. To je dáno několika faktory. Česká republika leží "na střeše" tří významných mezinárodních povodích Labe, Dunaje a Odry. To sebou nese určitá specifika vodní sítě: převládají toky nižších řádů (podle Strahlera [64]) s bystřinným prouděním a vysokou drsností vodního koryta, zvláště při nízkých průtokových stavech. Modelování a predikování tvaru mísicí zóny v neustáleném proudění je velice obtížné. Nelze přesně podchytit a seriózně uchopit všechny aspekty ovlivňující dispergaci znečištění ve vodním sloupci. Použité vztahy a model pracují s průměrovanými a idealizovanými parametry, které se však v terénu velice často mění. Tuto míru nepřesnosti v oblasti predikce rozsahu mísicí zóny je ale možno částečně ovlivnit zpřesňováním vstupních dat, jak je prezentováno ve víceúrovňovém přístupu v metodice. Omezení vykazuje i základní výpočetní algoritmus programu. Další nejistotou je správnost volby součinitele drsnosti  $n$ ; je dána použitou metodou výpočtu nebo odhadem z katalogizovaných údajů.

Přesto lze tvrdit, že dosažené výsledky práce jsou využitelné pro další výzkum a pro praxi. Cílem práce nebylo totiž snažit se o co nejpřesnější a nejvěrohodnější určení rozsahu mísicí zóny, ale vytvoření jednoduchého a v praxi snadno použitelného metodického přístupu k jeho určení kompetentním orgánem státní správy v podmínkách ČR. Rovněž v členských zemích EU, kde se problematikou mísicí zóny zabývají, jsou využívány modely založené na obdobných principech a se srovnatelnou mírou přesnosti, jako v této práci.

Z výsledků terénních měření na 16 vybraných tocích v ČR (23 lokalitách) se dá odvodit vztah pro zjednodušený prvotní odhad délky mísicí zóny (v metrech):

$$d_{MZ} = 1,317B^2 + 23,102B + 50,533 \quad \text{vztah (47)}$$

kde B je šířka toku v metrech.



Obr. 66 Závislost délky mísicí zóny na šířce toku z výsledků terénních měření

Stále však platí, že každé místo na vodním toku je svou povahou jedinečné a je potřeba jej zkoumat individuálně. Získané poznatky o rozsahu mísicí zóny se také vždy vztahují k těm průtokům, pro které byly ověřovány.

Získané poznatky a výsledky této práce jsou využitelné i pro zlepšení havarijního managementu, a to v několika rovinách. V rámci zpracovávání scénářů možných úniků chemických látek z průmyslových areálů do povrchových vod je možné predikovat tvar a rozsah mísicí zóny pod místem úniku v případě, že jde o únik kapaliny (mísitelné s vodou) a můžeme kvalifikovaně odhadnout koncentraci polutantu a množství uniklé kapaliny za jednotku času. Pak je možné připravit množství takových scénářů pro různé průtokové stavy v recipientu a velikost úniku. Přínos spočívá v tom, že můžeme predikovat oblast zasaženou a oblast nezasazenou únikem, protože obě vedle sebe po určitou dobu koexistují (jak bylo ukázáno na příkladech). Můžeme dále rozlišit oblast předpokládaných akutních toxických účinků na vodní organizmy a oblast chronických účinků. Při zvládání havárie můžeme také lépe optimalizovat výběr vzorkovacích míst pro kontrolu znečištění

vody a/nebo získané výsledky lépe interpretovat. Použití modelovacího nástroje CIT končí v místě úplného smísení znečištění v celém příčném profilu toku. Poté je pro další modelování postupu znečištění nutno použít jiný vhodný model (např. ALAMO [63]).

Další možností zlepšení havarijního managementu je využít měření konduktivity pro kontinuální monitorování jakosti odpadních vod a/nebo povrchových vod pod areálem podniku. Při definovaných skokových změnách tohoto fyzikálního parametru by následovaly další operativní kroky, jako např. odběr vzorku vody automatickým vzorkovačem, uvedení uzávěrů podnikové kanalizace do činnosti, kontrola hladin zásobníků, apod.

Předpokládá se, že výstupy řešení disertační práce budou využitelné v praxi ochrany vod především:

- státními podniky Povodí, které jsou správci převládající délky vodních toků ČR; metodika a SW CIT mají sloužit správcům povodí na vymezování těchto zón
- Ministerstvem životního prostředí ČR jakožto nástroj vodní politiky v rámci ČR a směrem k Evropské unii
- průmyslovými podniky nakládajícími se závadnými látkami ve významném množství pro tvorbu scénářů mísící zóny vlivem havarijního úniku.

Česká republika k vymezení mísících zón zatím nepřistoupila. V roce 2016 autor této práce zpracovává pro MŽP studii, která má zhodnotit, zda je účelné v podmínkách ČR mísící zóny vymezit či nikoli.

Výsledky práce a související problematiky byly publikovány na národní úrovni i v zahraničí. Přehled výstupů je uveden v následující kapitole 9.



## 9. Dosažené výsledky autora vztahující se k tématu práce

### *Recenzované odborné články v odborném periodiku ( $J_{rec}$ )*

Mičaník, T., Kučera, J., Sýkora, F., Belda, J., Šajer, J. Problematika stanovení míšící zóny v kontextu návrhu směrnice ES o normách environmentální kvality a o změně směrnice 2000/60/ES. VTEI, příloha Vodního hospodářství č. 4/2008, 2008, roč. 50, č. 2, s. 1—3. ISSN 0322-8916.

Vyskoč, P., Prchalová, H., Mičaník, T., Rosendorf, P., Kristová, A., Svobodová, J. Postupy hodnocení významnosti zdrojů a cest emisí znečišťujících látek do vody. VTEI - Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, 2014, roč. 56, č. 1, s. 2—7. ISSN 0322-8916.

Mičaník, T., Sýkora, F., Truxová, I., Chrastina, D., Kadlčíková, M., Cséri, L. Studium kinetiky sorpce polyaromatických uhlovodíků, kadmia a rtuti na vybrané typy pevných matric a říční sediment. VTEI - Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, 2011, roč. 53, č. 3, s. 29—31. ISSN 0322-8916.

### *Recenzované odborné články v odborném periodiku ( $J_{SC}$ )*

Micanik, T., Sajer, J., Kotatko, A. Mixing zone designation as a tool for management decision making in the case of the hazardous substances releases into the water environment. In SGEM 12th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2012, Conference Proceedings, Volume V, Ecology and Environmental Protection. Albena, Bulgaria, 17.6.2012. Sofia, Bulgaria : STEF92 Technology Ltd., Andrey Lyapchev Blvd, 2012, s. 579—586. ISSN 1314-2704.

### *Výsledky promítnuté do schválených strategických a koncepčních dokumentů ( $H_{konc}$ )*

Mičaník, T., Šlouf, V., Kodeš, V., Sýkora, F. Program na snížení znečištění povrchových vod nebezpečnými závadnými látkami a zvláště nebezpečnými závadnými látkami 2010 – 2013. 2010, Odbor ochrany vod MŽP, Vršovická 1442/65, Praha 10, PSČ 10010, 16.4.2010.

Sýkora, F., Mičaník, T., Kristová, A.: Část G: Programy pro jednotlivé prioritní a vybrané znečišťující látky. 2009, Odbor ochrany vod MŽP, Vršovická 1442/65, Praha 10, PSČ 10010, 16.4.2010.

*Certifikovaná metodika ( $N_{met}$ )*

Mičaník, T., Sýkora, F., Šajer, J.: Metodika pro vymezení mísících zón podle § 6 vyhlášky č. 98/2011 Sb. v útvarech povrchových vod tekoucích (kategorie řeka). Ministerstvo životního prostředí, odbor ochrany vod, Vršovická1442/65, Praha10, PSČ 11010, 25.4.2014.

*Software (R)*

Šajer J., Mičaník T., Sýkora F.: Český imisní test (CIT). VÚV TGM, v.v.i., 2012.

*Specializovaná mapa s odborným obsahem ( $N_{map}$ )*

Mičaník, T., Vyskoč, P., Filippi, R., Richter, P. Jakost povrchových vod z hlediska plnění požadavků nařízení vlády č. 61/2003 Sb., ve znění pozdějších předpisů, matrice "voda", období 2006-2008: Ukazatele sloužící pro vyhodnocení chemického stavu útvarů povrchových vod. 2011, MŽP, odbor ochrany vod, Vršovická1442/65, Praha10, PSČ 11010, 9.12.2011.

*Ostatní výsledky (O): Konference - příspěvky a postery*

Kotatko, A., Danihelka, P., Micanik, T. The discharge plume determination by conductivity measurements in Northern Moravia rivers towards industrial pollution detection. In EGU Viena, poster. Abstract In Geophysical Research Abstracts, Vol. 13, EGU2011-10745-3, EGU General Assembly 2011.



## Soupis bibliografických citací

- [1] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES ze dne 23. října 2000, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky.
- [2] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/105/ES ze dne 16. prosince 2008 o normách environmentální kvality v oblasti vodní politiky, změně a následném zrušení směrnic Rady 82/176/EHS, 83/513/EHS, 84/156/EHS, 84/491/EHS a 86/280/EHS a o změně směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2000/60/ES.
- [3] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2013/39/EU ze dne 12. srpna 2013, kterou se mění směrnice 2000/60/ES a 2008/105/ES, pokud jde o prioritní látky v oblasti vodní politiky.
- [4] Zákon 254/2001 Sb. ze dne 28. června 2001 o vodách a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů (vodní zákon). In: HORÁČEK, Zdeněk a kol. *Vodní zákon*. III. vydání. Sondy s.r.o. Praha 2015. ISBN 978-80-86846-57-6.
- [5] PARK, S. Seok a UCHRIN, G. Christopher. A numerical mixing zone model for water quality assessment in natural streams: Conceptual development. *Ecological Modelling*. Volume 42, Issues 3–4, September 1988, pp. 233–244. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0304380088900592>
- [6] NEELY, W. Brock. The definition and use of mixing zones. *Environ. Sci. Technol.* 1982, 16 (9), pp. 518A–521A. Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es00103a725>
- [7] POWELL, D. Mark. Patterns and processes of sediment sorting in gravel-bed rivers. *Progress in Physical Geography*. March 1998, 22, pp. 1–32.
- [8] ALLEN, J.R.L. Fundamental properties of fluids and their relation to sediment transport processes. In: Pye, K. *Sediment transport and depositional processes*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1994, pp. 51–60.
- [9] MORISAWA, Marie. *Rivers: Form and Processes*. Harlow: Longman, 1985, 222 p.
- [10] KNIGHTON, David. *Fluvial Forms and Processes: A New Perspective*. Hodder Arnold, London, 1998. ISBN 13: 978-0-340-66313-4.
- [11] ROBERT, Andre. *River Processes, An Introduction to Fluvial Dynamics*. Hodder Education, London, 2003. ISBN 978-0-340-76339-1.

- [12] VOGEL, M. Richard. Hydromorphology. *Journal of Water Resources Planning and Management*. Volume 137, Issue 2, March 2011, pp. 147–149. Dostupné z: <http://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%29WR.1943-5452.0000122>
- [13] ROSGEN, L. David. A classification of natural rivers. *Catena*. 22, 1994, pp. 169–199. Dostupné z: <http://pages.geo.wvu.edu/~kite/Rosgen1994ClassificationRivers.pdf>
- [14] BENNETT, S.J. a BEST, J.L. Structure of turbulence over two-dimensional dunes. In: Béloguey, M., Rajaona, R.D., Sleath, J.F.A. Sediment transport mechanisms in coastal environments and rivers. *World Scientific*. Singapore, 1994, pp. 3–13.
- [15] FISCHER, H.B., LIST, E.J., KOH, R.C.Y., IMBERGER, J. a BROOKS, N.H. Mixing in Inland and Coastal Waters. *Academic Press*. 1979, New York.
- [16] HOLLEY, E.R. a JIRKA, G.H. Mixing and Solute Transport in Rivers, Field Manual, U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Tech. Report E-86-11, 1986. In: Czernuszenko, Włodzimierz a Rowinski, Pawel. *Water Quality hazards and dispersion of pollutants*. Springer, 2010. ISBN 978-1-4419-3606-6. Chapter I.
- [17] RUTHERFORD, J. Christopher. *River Mixing*. John Wiley and Sons Ltd., Chichester, United Kingdom, 1994.
- [18] JIRKA, H., Gerhard, BLENINGER, Tobias, BURROWS, Richard a LARSEN, Torben. *Environmental Quality Standards in the EC-Water Framework Directive: Consequences for Water Pollution Control for Point Sources*. European Water Management Online. Official Publication of the European Water Association ©EWA 2004, pp. 1-20. Dostupné z: [http://www.ewa-online.eu/tl\\_files/\\_media/content/documents\\_pdf/Publications/E-Water/documents/73\\_2004\\_01h.pdf](http://www.ewa-online.eu/tl_files/_media/content/documents_pdf/Publications/E-Water/documents/73_2004_01h.pdf)
- [19] ŘÍHA, Jaromír a kol. *Jakost vody v povrchových tocích a její matematické modelování*. NOEL 2000, Brno 2002, 269 s. ISBN 80-86020-31-2. Kapitola 4.4.
- [20] KILPATRICK, F.A., MARTENS, L.A. a WILSON, J.F. Measurement of time of travel and dispersion by dye tracing. *Techniques of Water Resources of the USGS*, Book 3, Chapter A9.
- [21] YOTSUKURA, N. *Surface Water Quality Modeling*, New York, U.S.A., p. 247, 1968, 1997.

- [22] ŠAJER, Jiří. *Some Details of Mathematical Modeling of Effluents in Rivers Downstream of a WWTP*. Water Treatment. Chapter 3, January 2013, pp. 392. ISBN 978-953-51-0928-0.
- [23] Vyhláška č. 98/2011 Sb. o způsobu hodnocení stavu útvarů povrchových vod, způsobu hodnocení ekologického potenciálu silně ovlivněných a umělých útvarů povrchových vod a náležitostech programů zjišťování a hodnocení stavu povrchových vod, ve znění pozdějších předpisů.
- [24] Povodí Vltavy, státní podnik. Tisková zpráva: *Státní podnik Povodí Vltavy provedl stopovací pokus ve Vltavě*. 2012. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/files/download/promedia-a-verejnost/tiskove-zpravy/tz-pokus-stop.pdf>
- [25] Povodí Vltavy, státní podnik. Naše voda – informační portál o vodě. *Povodí Vltavy testovalo rychlost postupu látek v případě znečištění toku*. 2012. Dostupné z: <http://www.nase-voda.cz/povodi-vltavy-testovalo-rychlost-postupu-latek-pripade-znecisteni-toku/>
- [26] *Zpráva o výzkumné a průzkumné činnosti ZO 6-16 Tartaros za rok 1980*. Dostupné z: <http://www.tartaros.eu/node/38>
- [27] KABELKOVÁ-JANČÁRKOVÁ, Ivana. *Význam hyporheické zóny pro samočištění mělkých řek na příkladu nitrifikace: 1. Experimenty a měření*. Vodní hospodářství č. 9, 2000. Dostupné z: <http://www.mzp.cz/ris/ais-ris-info-copy.nsf/da28f37425da72f7c12569e600723950/1ba1cd54fe6e9348c1256c370072caf8?OpenDocument>
- [28] HANSLÍK, Eduard a JURANOVÁ, Eva. *Výzkum vlivu nehody Jaderné elektrárny Temelín na kontaminaci vodního prostředí řek Vltavy a Labe po hraniční profil Hřensko*. Souhrnná zpráva o řešení projektu VG20122015088, 2012 – 2015. VÚV TGM, v.v.i., Praha, prosinec 2015. Dostupné z: [http://www.vuv.cz/files/pdf/220/224\\_souhrnna\\_zprava\\_bv-2015.pdf](http://www.vuv.cz/files/pdf/220/224_souhrnna_zprava_bv-2015.pdf)
- [29] OSTERBERG, C., CUTSHALL, N. a CRONIN, J. Chromium-51 as a Radioactive Tracer of Columbia River Water at Sea. *Science*. Dec. 17, 150(3703), 1965, pp. 1585-7. Abstract. Dostupný z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17743966>
- [30] BO, Gao, HAIDONG, Zhou, XIRONG, Liang a XIANGLIN, Tu. Cd isotopes as a potential source tracer of metal pollution in river sediments. *Environmental*

- Pollution*. October 2013, Volume 181, pages 340–343. Abstract. Dostupný z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749113003072>
- [31] VANDERBERG, A. Jerald, RYAN, M. Cthryn., NUEL, D. David a CHU, Angus. Field evaluation of mixing length and attenuation of nutrients and fial coliform in a wastewater effluent plume. *Environmental Monitoring and Assessment*. August 2005, Volume 107, Issue 1, pp. 45–57. Dostupné z: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10661-005-2020-y>
- [32] ANDERSON, M.P. Heat as a ground water tracer. *Ground Water*. Nov-Dec 2005, 43(6), p. 951-68. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16324018>
- [33] ZORAN, Maria. *Nuclear power plant`s water thermal plume assessment by satellite remote sensing data*. Proceedings of the Global Conference on Global Warming 2011, 11-14 July, 2011, Lisbon, Portugal, pp. 7. Dostupné z: <http://www.cge.uevora.pt/GCGW/presentations/173-196-1-RV.pdf>
- [34] KASSEM, Salah El-Alfy. *Surface discharges of warm water from thermal power stations into rivers*. Eighth International Water Technology Conference, IWTC8 2004, Alexandria, Egypt, pp. 15. Dostupné z: [http://www.iwtc.info/2004\\_pdf/06-5.pdf](http://www.iwtc.info/2004_pdf/06-5.pdf)
- [35] Hodnoty Manningova drsnostního součinitele  $n$  pro otevřená koryta a trubní prolily. Dostupné z: [http://www.planicka.eu/0\\_Download/Drsnosti\\_potrubi.pdf](http://www.planicka.eu/0_Download/Drsnosti_potrubi.pdf)
- [36] SMELÍK, Lukáš, UHMANNOVÁ, Hana a FOLTÝNOVÁ, Lucie. *Katalog drsností*. 5. E-learning. Dostupné z: <https://sites.google.com/site/katalogdrsnosti/e-learning>
- [37] UHMANNOVÁ, Hana a SMELÍK, Lukáš. *Fotografický katalog drsností*. VUT Brno, Katedra stavební, Útvar vodních staveb. Dostupné z: <http://www.utok.cz/sites/default/files/data/USERS/u24/Drsnost%20koryt.pdf>
- [38] POHANKA, Michal. *Chart3D v7.5*. Freeware. 23.9.2010. Dostupné z: <http://tahaj.sme.sk/software/372>
- [39] KOŤÁTKO, Aleš, DANIHELKA, Pavel a MIČANÍK, Tomáš. *The discharge plume determination by conductivity measurements in Northern Moravia rivers towards industrial pollution detection*. Poster. In: EGU Vienna, Abstract In: Geophysical Research Abstracts, Vol. 13, EGU2011-10745-3, EGU General Assembly, 2011.

- [40] MATTAS, Daniel. *Výpočet průtoku v otevřených korytech*. Práce a studie, sešit 205, Výzkumný ústav vodohospodářský, T.G. Masaryka, v.v.i. Praha, 2014. ISBN 978-80-87402-27-6, 110 s.
- [41] COON, F. William. *Estimation of Roughness Coefficients of Natural Stream Channels with Vegetated Banks*. US Geological Survey Water Supply, Paper 2441. Denver, Colorado 1998, 133 p. ISBN 0-607-88701-X. Dostupné z: <http://pubs.usgs.gov/wsp/2441/report.pdf>
- [42] JOBSON, E. Harvey a FROEHLICH, C. David. *Basic Hydraulic Principles of Open-Channel Flow*. US Geological Survey, Open-File Report 88-707, Denver, Colorado 1988, 150 p. Dostupné z: <http://pubs.usgs.gov/of/1988/0707/report.pdf>
- [43] JARRETT, D. Robert. Hydraulics of High Gradient Streams. *J. Hydraul. Eng.* 1984, Vol. 110, HY11, p. 1519–1539. Dostupné z: [http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1984\)110:11\(1519\)](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-9429(1984)110:11(1519))
- [44] MATTAS, Daniel. *Nové vztahy pro výpočet otevřených koryt*. In: Sborník 3. vodohospodářská konference, Práce a studie ÚVST FAST VUT v Brně, sešit 4, 2003, s. 128–135.
- [45] JARRETT, D. Robert. *Hydraulics of Mountain Rivers*. In: YEN, Ben Chie. Channel Flow Resistance: Centennial of Manning's Formula. Water Res. Publ., Littleton Colorado, 1992.
- [46] MATOUŠEK, Václav aj. *Sběr a zpracování dat z polních měření k určení hydraulické drsnosti koryta*. CIDEAS, Fakulta Stavební ČVUT v Praze, 2011.
- [47] *BoxPlotR: a web-tool for generation of box plots*. Freeware. Dostupné z: <http://boxplot.tyerslab.com/>
- [48] *Technické pokyny pro identifikaci misíčních zón podle čl. 4 odst. 4 směrnice 2008/105/ES*. K(2010) 9369 v konečném znění, Evropská komise, Brusel 22. prosince 2010.
- [49] Nařízení vlády č. 71/2003 Sb., o stanovení povrchových vod vhodných pro život a reprodukci původních druhů ryb a dalších vodních živočichů a o zjišťování a hodnocení stavu jakosti těchto vod.
- [50] Nařízení vlády č. 23/2011 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 61/2003 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod,

náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, ve znění nařízení vlády č. 229/2007 Sb.

- [51] Český hydrometeorologický ústav. Hlásná a předpovědní povodňová služba. *Hlásné profily*. Dostupné z: [http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps\\_main.php?kat=HLPRF](http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_main.php?kat=HLPRF)
- [52] Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce. Hydroekologický informační systém VÚV TGM. Dostupné z: [http://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=mp\\_heis\\_voda&](http://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=mp_heis_voda&)
- [53] JIRKA, H. Gerhard a WEITBRECHT, V. *Mixing models for water quality management in rivers: Continuous and instantaneous pollutant releases*. In: Czernuszenko, Wlodzimierz a Rowinski, Pawel. Water quality hazards and dispersion of pollutants, p. 1-34, 2004. ISBN 978-1-4419-3606-6
- [54] KOZLOVÁ, Marie a PRCHALOVÁ, Hana. *Metodika stanovení prahových hodnot pro podzemní vodu v interakci s povrchovou vodou*. Výstup projektu VaV SP/Ze1/153/07 "Zákonitosti interakce systému „voda - hornina - krajina“ a jejich využití při ochraně podzemních vod v České republice". VÚV TGM, v.v.i., Praha, srpen 2011, 40 s. Dostupné z: [http://www.geology.cz/vav-hydrocr50/vysledky-projektu/Metodika\\_prahove\\_hodnoty.pdf](http://www.geology.cz/vav-hydrocr50/vysledky-projektu/Metodika_prahove_hodnoty.pdf)
- [55] Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech
- [56] Česká inspekce životního prostředí. *Příklady významných vodohospodářských havárií od roku 1964*. Dostupné z: <http://www.cizp.cz/Havarie-na-vodach>
- [57] Mezinárodní komise pro ochranu Labe, Příloha č. 8 k závěrečnému protokolu z 19. zasedání MKOL: *Informace ke kyanidové havárii na Labi v lednu 2006 (stav: 6.9.2006)*. Dostupné z: [http://www.ikse-mkol.org/uploads/media/MKOL-KOM19\\_2006\\_Pr\\_08\\_prot\\_Info-havarie-kyanidy.pdf](http://www.ikse-mkol.org/uploads/media/MKOL-KOM19_2006_Pr_08_prot_Info-havarie-kyanidy.pdf)
- [58] *Kyanid draselný*. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Kyanid\\_draseln%C3%BD](https://cs.wikipedia.org/wiki/Kyanid_draseln%C3%BD)
- [59] Povodí Labe, s. p. *Plán dílčího povodí Horního a Středního Labe, Kapitola I - Charakteristiky dílčího povodí, Tabulka I.1.3a Základní hydrologické údaje*.

- (30.3.2016). Dostupné z: <http://www.pla.cz/planet/projects/planovanirov2014/detail.aspx?proj=1>
- [60] *Nitrobenzen*. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Nitrobenzen>
- [61] DAVIES, L. et al. *Nitrobenzene*. World Health Organization, Geneva 2003, 141 p. ISBN 92-4-157230-0. Dostupné z: [http://www.who.int/ipcs/publications/ehc/230\\_part\\_I.pdf](http://www.who.int/ipcs/publications/ehc/230_part_I.pdf)
- [62] BLAŽKOVÁ, Kateřina a KOŤÁTKO, Aleš. *Hodnocení úniků nebezpečných látek do životního prostředí pro účely stanovování zóny havarijního plánování*. In: *Hodnocení a zvládání: Mezinárodní konference mladých vědeckých pracovníků*. Ostrava, Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011. s. 30-38. ISBN 978-80-248-2486-4.
- [63] Mezinárodní komise na ochranu Labe. *Poplachový model Labe (ALAMO). Předpovědní model pro výpočet postupu látkové vlny. Základní informace*. 2004, 4 s. Dostupné z: [http://www.ikse-mkol.org/uploads/media/ALAMO\\_Zakladni\\_informace.pdf](http://www.ikse-mkol.org/uploads/media/ALAMO_Zakladni_informace.pdf)
- [64] RUDA, Aleš. *Klimatologie a hydrogeografie pro učitele*. Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity. Dostupné z: [https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz\\_geogr/web/pages/08-hydrografie.html](https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/08-hydrografie.html)





## Seznam příloh

- Příloha A: Přehled látek a norem environmentální kvality pro prioritní látky a některé další znečišťující látky
- Příloha B: Přehled vodních toků vybraných pro experimentální ověření rozsahu mísicí zóny
- Příloha C: Primární výsledky měření rozsahu vlečky znečištění pomocí konduktivity na úsecích vodních toků vybraných pro experimentální ověření rozsahu mísicí zóny
- Příloha D: Základní charakteristiky ověřovaných vodních toků pro výpočet rozsahu mísicí zóny
- Příloha E: Poměry shody mezi experimentálně zjištěným rozsahem mísicí zóny a vypočtenými hodnotami podle vztahů (15 – 19)
- Příloha F: Odhad součinitele drsnosti podle modifikovaného vztahu Cowana (37)
- Příloha G: Protokol o vymezení regulační mísicí zóny
- Příloha H: Ověření těsnosti vztahu (32) pro výpočet rozsahu mísicí zóny programem CIT na základě reálných měření  $C_{max}$  v terénu
- Příloha I: Délka mísicí zóny vypočtená programem CIT – Úroveň 3 a na korigovanou koncentraci  $C_{kone}$

Elektronické přílohy na CD:

Disertační práce (soubor MIC0041\_DP)

Příloha I Výpočet délky mísicí zóny podle vztahů 15–19

Příloha II Výpočet součinitele drsnosti modifikovanou Cowanovou metodou

Příloha III Výpočty  $d_{MZ}$  modelem CIT

Příloha IV      Testy vymezení MZ vypouštění

Příloha V      Testy vymezení MZ havárie

## **Přílohy**



## Příloha A

**Přehled látek a norem environmentální kvality pro prioritní látky a některé další  
znečišťující látky**

P.č.	CAS	Název láky	NEK – RP [μg.l <sup>-1</sup> ]	NEK – NPH [μg.l <sup>-1</sup> ]
1	15972-60-8	alachlor	0,3	0,7
2	120-12-7	anthracen	0,1	0,1
3	1912-24-9	atrazin	0,6	2,0
4	71-43-2	benzen	10	50
5	32534-81-9	bromované difenylethery <sup>1)</sup>		0,14
6	7440-43-9	kadmium a jeho sloučeniny <sup>7), 11), 13)</sup>	≤0,08 až 0,25	≤0,45 až 1,5
		Třída 1: < 40 mg CaCO <sub>3</sub> /l	≤0,08	≤0,45
		Třída 2: 40 až < 50 mg CaCO <sub>3</sub> /l	0,08	0,45
		Třída 3: 50 až < 100 mg CaCO <sub>3</sub> /l	0,09	0,6
		Třída 4: 100 až < 200 mg CaCO <sub>3</sub> /l	0,15	0,9
		Třída 5: ≥ 200 mg CaCO <sub>3</sub> /l	0,25	1,5
6a	56-23-5	tetrachlormethan <sup>2)</sup>	12	-
7	85535-84-8	chlorované alkany C10-13	0,4	1,4
8	470-90-6	chlorfenvinfos	0,1	0,3
9	2921-88-2	chlorpyrifos	0,03	0,1
9a		cyklodienové pesticidy – suma <sup>2), 3)</sup>	0,01	-
9b	n.a.	DDT – suma <sup>2), 4)</sup>	0,025	-
	50-29-3	para-para-DDT	0,01	-
10	107-06-2	1,2-dichlorethan	10	-
11	75-09-2	dichlormethan	20	-
12	117-81-7	bis(2-ethylhexyl)ftalát (DEHP)	1,3	-
13	330-54-1	diuron.	0,2	1,8
14	115-29-7	endosulfan <sup>5)</sup>	0,005	0,01
15	206-44-0	fluoranthen	0,0063	0,12
16	118-74-1	hexachlorbenzen		0,05
17	87-68-3	hexachlorbutadien		0,6
18	608-73-1	hexachlorcyklohexan <sup>6)</sup>	0,02	0,04
19	34123-59-6	isoproturon	0,3	1
20	7439-92-1	olovo a jeho sloučeniny <sup>7), 13)</sup>	1,2	14
21	7439-97-6	rtuť a její sloučeniny <sup>7), 13)</sup>		0,07
22	91-20-3	naftalen	2	130
23	7440-02-0	nikl a jeho sloučeniny <sup>7), 13)</sup>	4	34
24	104-40-5	nonylfenoly (4-nonylfenol)	0,3	2,0
25	140-66-9	oktylfenoly (4-(1,1',3,3'-tetramethylbutyl)fenol)	0,1	-
26	608-93-5	pentachlorbenzen	0,007	-
27	87-86-5	pentachlorfenol	0,4	1
28	n.a.	polycyklické aromatické uhlovodíky:	-	-
	50-32-8	benzo(a)pyren	1,7 x 10 <sup>-4</sup>	0,27
	205-99-2	benzo(b)fluoranthen	<sup>8)</sup>	0,017

P.č.	CAS	Název láky	NEK – RP [μg.l <sup>-1</sup> ]	NEK – NPH [μg.l <sup>-1</sup> ]
	207-08-9	benzo(k)fluoranthén	<sup>8)</sup>	0,017
	191-24-2	benzo(g,h,i)perylene	<sup>8)</sup>	8,2 x 10 <sup>-3</sup>
	193-39-5	indeno(1,2,3-c,d)pyren	<sup>8)</sup>	-
29	122-34-9	simazin	1	4
29a	127-18-4	tetrachlorethen <sup>2)</sup>	10	-
29b	79-01-6	trichlorethen <sup>2)</sup>	10	-
30	36643-28-4	sloučeniny tributylcínu (kation tributylcínu)	0,0002	0,0015
31	12002-48-1	trichlorbenzeny <sup>9)</sup>	0,4	-
32	67-66-3	trichlormethan (chloroform)	2,5	-
33	1582-09-8	trifluralin	0,03	-
34	115-32-2	dikofol	1,3 x 10 <sup>-3</sup>	
35	1763-23-1	perfluoroktansulfonová kyselina a její deriváty (PFOS)	6,5 x 10 <sup>-4</sup>	36
36	124495-18-7	chinoxyfen	0,15	2,7
37		dioxiny a sloučeniny s dioxinovým efektem <sup>10)</sup>	-	-
38	74070-46-5	acilonifen	0,12	0,12
39	42576-02-3	bifenox	0,012	0,04
40	28159-98-0	cybutryn	0,0025	0,016
41	52315-07-8	cypermethrin	8 x 10 <sup>-5</sup>	6 x 10 <sup>-4</sup>
42	62-73-7	dichlorvos	6 x 10 <sup>-4</sup>	7 x 10 <sup>-4</sup>
43		hexabromcyklododekan (HBCDD) <sup>12)</sup>	0,0016	0,5
44	76-44-8 1024-57-3	heptachlor a heptachlorepoxyd	2 x 10 <sup>-7</sup>	3 x 10 <sup>-4</sup>
45	886-50-0	terbutryn	0,065	0,34

<sup>1)</sup> Limitní hodnota stanovená pro sumu kongenerů bromovaných difenyletherů s čísly 28, 47, 99, 100, 153 a 154.

<sup>2)</sup> Tato látka není látkou prioritní, nýbrž jednou z ostatních znečišťujících látek, pro něž jsou NEK shodné s těmi, jež byly stanoveny v právních předpisech používaných před 13. lednem 2009.

<sup>3)</sup> K cyklo-dienovým pesticidům náleží: aldrin (číslo CAS 309-00-2), dieldrin (číslo CAS 60-57-1), endrin (číslo CAS 72-20-8) a isodrin (číslo CAS 465-73-6).

<sup>4)</sup> DDT celkem je součtem izomerů: 1,1,1-trichlor-2,2-bis(p-chlorofenyl)ethan (číslo CAS 50-29-3; číslo EU 200-024-3); 1,1,1-trichlor-2 (o-chlorofenyl)-2-(p-chlorofenyl) ethan (číslo CAS 789-02-6; číslo EU 212-332-5); 1,1-dichlor-2,2 bis (p-chlorofenyl) ethylen (číslo CAS 72-55-9; číslo EU 200-784-6); a 1,1-dichlor-2,2 bis (p-chlorofenyl) ethan (číslo CAS 72-54-8; číslo EU 200-783-0).

<sup>5)</sup> Endosulfan zahrnuje sumu α-endosulfanu a β-endosulfanu.

<sup>6)</sup> Suma hexachlorcyklohexanů zahrnuje: α-HCH, β-HCH, γ-HCH a δ-HCH.

<sup>7)</sup> V případě kadmia, olova, rtuti a niklu se hodnoty NEK pro vodu vztahují ke koncentraci rozpuštěných látek, tj. k rozpuštěné fázi vzorku vody získané filtrací filtrem s otvory 0,45 μm nebo jinou rovnocennou předúpravou.

<sup>8)</sup> V případě skupiny prioritních látek, jimiž jsou polyaromatické uhlovodíky (PAU) (č. 28), se NEK-RP ve vodě vztahují ke koncentraci benzo(a)pyrenu, z jehož toxicity vycházejí.

Benzo(a)pyren lze považovat za referenční ukazatel pro ostatní PAU, proto je třeba monitorovat a porovnávat s NEK pro odpovídající NEK-RP ve vodě pouze benzo(a)pyren.

- <sup>9)</sup> Suma trichlorbenzenů zahrnuje: 1,2,3-trichlorbenzen, 1,2,4-trichlorbenzen a 1,3,5-trichlorbenzen
- <sup>10)</sup> NEK je stanovena pouze pro biotu.
- <sup>11)</sup> V případě kadmia a jeho sloučenin se hodnoty NEK liší podle tvrdosti vody, která je charakterizovaná pomocí pětistupňové škály tvrdosti.
- <sup>12)</sup> Vztahuje se na 1,3,5,7,9,11-hexabromcyklododekan (číslo CAS 25637-99-4), 1,2,5,6,9,10-hexabromcyklododekan (číslo CAS 3194- 55-6),  $\alpha$ -hexabromcyklododekan (číslo CAS 134237-50-6),  $\beta$ -hexabromcyklododekan (číslo CAS 134237-51-7) a  $\gamma$ -hexabromcyklododekan (číslo CAS 134237-52-8).
- <sup>13)</sup> V případě kovů je možno zohlednit přirozené koncentrace pozadí, pokud takové koncentrace brání souladu s hodnotou příslušných NEK.

Pozn.:

Od p.č. 34 po p.č. 45 se jedná o nově stanovené prioritní látky, jejichž NEK platí od 22.12.2018. V případě látek pod p.č. 1 až 33 byly některé NEK revidovány s účinností od 22.12.2015.

## Příloha B

## Přehled vodních toků vybraných pro experimentální ověření rozsahu mísící zóny

Název toku	Dílčí povodí	Hlavní povodí	Místo ověření	Charakteristika toku	Poř. č.
Bečva	Bečva	Moravy	Pod výpustí podniku Deza, a.s. Valašské Meziříčí	Střední vodní tok s bystřinných prouděním	1
Bezejmenný přítok	Žižkův potok	Odry	Pod výpustí podniku Saft-Ferak, a.s. Raškovice	Drobný vodní tok s nížinných charakterem	2
Bohumínská Stružka	Bohumínská Stružka	Odry	Pod ústím Lidického příkopu	Drobný vodní tok s nížinných charakterem	3
Hutní potok	Bílina	Labe	Po výpustí podniku United Energy, a.s. Teplárna Komořany	Drobný vodní tok s nížinných charakterem	4
Labe I	Labe	Labe	Pod výpustí ČOV Hradec Králové	Větší nížinný vodní tok	5
Labe II	Labe	Labe	Pod výpustí ČOV Pardubice	Velký nížinný vodní tok	6
Labe III	Labe	Labe	Pod výpustí ČOV Neštémice do Labe	Velký nížinný vodní tok	7
Lučina	Lučina	Odry	Pod výpustí podniku ArcelorMittal, a.s. Ostrava	Drobný vodní tok s bystřinných prouděním	8
Morávka	Morávka	Odry	Pod zaústěním Žižkova potoka	Střední vodní tok s bystřinných prouděním	9
Odra	Odra	Odry	Pod výpustěmi podniku BorsodChem MCHZ, s.r.o. Ostrava	Střední vodní tok s nížinným charakterem mezi Lhoteckým a Petřkovickým jezem	10
Olše	Olše	Odry	Pod výpustěmi KČOV 1,2 podniku Energetika Třinec, a.s.	Střední vodní tok s bystřinných prouděním	11
Opava	Opava	Odry	Pod výpustěmi ČOV Opava a podniku Ostroj, a.s. Opava	Střední vodní tok s nížinným charakterem a nízkými příčnými stupni	12



Opusta	Opava	Odry	Pod výpustí podniku MSA,a.s. Dolní Benešov	Drobný vodní tok s bystřinných prouděním	13
<b>Název toku</b>	<b>Dílčí povodí</b>	<b>Hlavní povodí</b>	<b>Místo ověření</b>	<b>Charakteristika toku</b>	<b>Poř. č.</b>
Oslava	Jihlava	Moravy	Pod výpustí podniku Endis, a.s. Velké Meziříčí	Střední vodní tok s bystřinných prouděním	14
Ostravice I	Ostravice	Odry	Pod výpustěmi ČOV Frýdek-Místek a ArcelorMittal Frýdek-Místek, a.s.	Střední vodní tok s bystřinných prouděním a jezy	15
Ostravice II	Ostravice	Odry	Pod výpustí z odpadovodu Biocelu Paskov, a.s.	Střední vodní tok s bystřinných prouděním a jezy	16
Ostravice III	Ostravice	Odry	Pod výpustí důlních vod z DJ Jeremenko	Střední vodní tok s bystřinných prouděním a jezy	17
Petřvaldská Stružka	Petřvaldská Stružka	Odry	Pod výpustí důlních vod z podniku Diamo, s.p., dolu Žofie	Drobný vodní tok s bystřinných prouděním	18
Ploučnice	Labe	Labe	Pod výpustí důlních vod z areálu podniku Diamo, s.p., závodu Geam Stráž pod Ralskem	Drobný vodní tok s bystřinných prouděním	19
Podhořský potok	Bílina	Labe	Pod výpustí Tlakové plynárny Ústí n. Labem, a.s.	Drobný vodní tok s bystřinných prouděním	20
Svitava	Svratka	Moravy	Pod výpustí podniku Telluria, s.r.o. Skrchov	Drobný vodní tok s bystřinných prouděním	21
Zdobnice I	Divoká Orlice	Labe	Pod výpustí podniku ESAB Vamberk, s.r.o.	Drobný vodní tok s bystřinných prouděním a nízkými příčnými stupni	22
Zdobnice II	Divoká Orlice	Labe	Pod výpustí ČOV Vamberk	Drobný vodní tok s bystřinných prouděním a nízkými příčnými stupni	23

**Primární výsledky měření rozsahu vlečky znečištění pomocí konduktivity na úsecích  
vodních toků vybraných pro experimentální ověření rozsahu mísicí zóny**

**Bečva pod výpustí odpadních vod z podniku DEZA, a.s. Valašské Meziříčí (p.č. 1)**



Situační mapa úseku mísicí zóny

1. měření:

Datum měření: 16.7.2007

Průtok v recipientu:  $3,62 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průtok odpadní vody:  $0,015 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průměrná hloubka recipientu: 0,6 m

Průměrná šířka recipientu: 28,7 m

Průměrná rychlost proudění:  $0,21 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Výsledky měření:

Vzdálenost [m]	Pravý břeh			Příčný profil - vodivost [μS.cm <sup>-1</sup> ]													Levý břeh			Δ
	1	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45				
0	1495																			
274	404	404	405	404	402	390	380	379	378	377	375	374	369				35			
481	397	395	387	385	383	380	379	376	381								21			
940	388	387	386	385	383	383	382	384									6			
1260	383	383	384	383	382	382	381	381	379								4			
1600	378	378	378	377	377	377	ostr ov	ostr ov	ostr ov	ostr ov	ostr ov	ostr ov	379	381	380	379	4			
1860	371	371	372	372	372	373	373	373	373								2			
2100	372	372	372	373	373	373	373	372	374								2			
2460	372	372	372	372	372	372	372	372	373	373	373	373					1			

2. měření:

Datum měření: 4/2009

Průměrná hloubka recipientu: 0,55 m

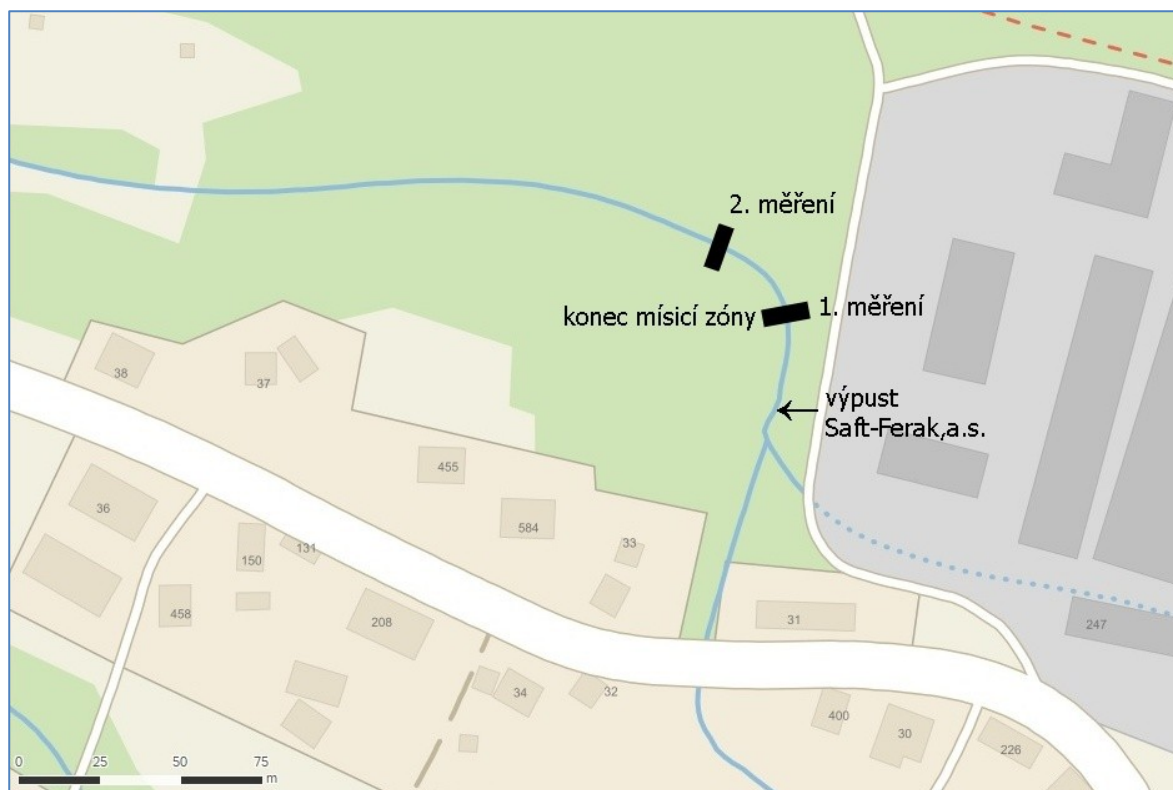
Průtok v recipientu:  $2,71 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ 

Průměrná šířka recipientu: 29 m

Průtok odpadní vody:  $0,032 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ Průměrná rychlost proudění:  $0,17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 

Vzdálenost [m]	Pravý břeh		Příčný profil - vodivost [μS.cm <sup>-1</sup> ]														Levý břeh		Δ
	1	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45			
-10	423		423								421						2		
0	1445																		
200	461		456		448		436		426		421						40		
400	448		444		437		433		429		428						20		
690	437		436		436		436		436		435						2		

**Bezejmenný přítok Žižkova potoka pod výpustí odpadních vod z podniku Saft-Ferak, a.s. Raškovice (p.č. 2)**



Situační mapa úseku mísicí zóny

Datum měření: 19.8.2009  
 Průtok v recipientu:  $0,004 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$   
 Průtok odpadní vody:  $0,0032 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průměrná hloubka recipientu: 0,06 m  
 Průměrná šířka recipientu: 1,05 m  
 Průměrná rychlost proudění:  $0,06 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Výsledky 1. měření:

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [mS.cm <sup>-1</sup> ]			Δ
	Levý břeh		Pravý břeh	
	0,1	0,5	1,0	
-1	0,164		0,164	0
0			13,44	
2	11,62	11,71	12,95	1,33
7	10,8	11,49	12,06	1,26
15	11,51		11,68	0,17
28	11,53	11,53	11,53	0

Datum měření: 29.4.2009  
 Průtok v recipientu:  $0,007 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$   
 Průtok odpadní vody:  $0,003 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průměrná hloubka recipientu: 0,08 m  
 Průměrná šířka recipientu: 1,1 m  
 Průměrná rychlost proudění:  $0,08 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Výsledky 2. měření:

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [mS.cm <sup>-1</sup> ]			$\Delta$
	Levý břeh		Pravý břeh	
	0,1	0,5	1,0	
-1		0,15		0
0			8,42	
5	3,78	3,76	3,81	0,05
25	3,74	3,76	3,75	0,02
50	3,73	3,73	3,72	0,01

### Bohumínská Stružka pod ústím Lidického příkopu (p.č. 3)



Situační mapa úseku mísicí zóny

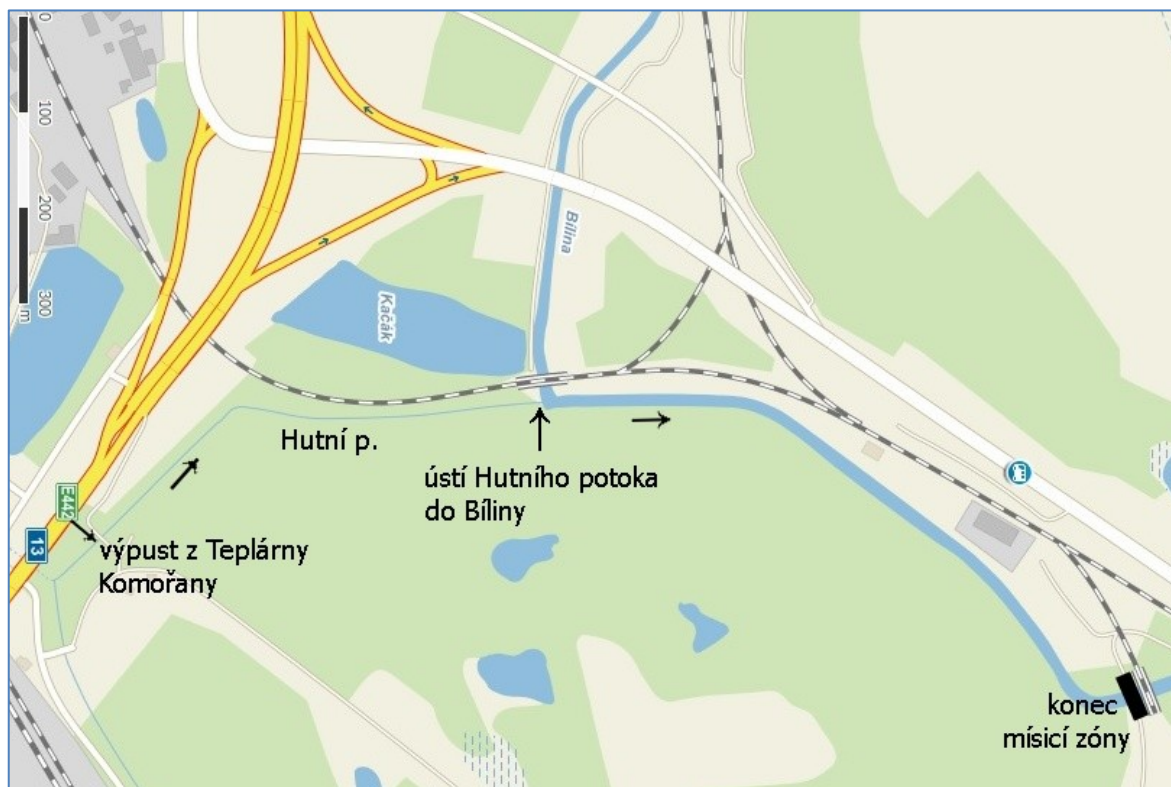
Datum měření: 18.10.2010  
 Průtok v recipientu:  $0,072 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$   
 Průtok v Lidickém p.:  $0,006 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průměrná hloubka recipientu: 0,32 m  
 Průměrná šířka recipientu: 3,2 m  
 Průměrná rychlost proudění:  $0,07 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

#### Výsledky měření:

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [mS.cm <sup>-1</sup> ]					Δ
	Levý břeh	Pravý břeh				
	0,2	1	2	3	4	
-5	2,31		2,31		2,31	0
0	3,78					
1	2,69	2,66	2,63	2,39	2,33	0,36
20	2,55	2,42	2,44	2,37	2,36	0,19
65	2,44	2,44		2,43	2,42	0,02
90	2,43	2,43		2,43	2,43	0

### Bílina pod výpustí podniku Teplárna Komořany (p.č. 4)



Situační mapa úseku mísicí zóny

Hutní potok:

Datum měření: 31.7.2009

Průtok v recipientu:  $0,05 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průtok odpadní vody:  $0,04 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průměrná hloubka recipientu: 0,2 m

Průměrná šířka recipientu: 3,0 m

Průměrná rychlost proudění:  $0,083 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Výsledky měření:

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ]			$\Delta$	Poznámka
	Levý břeh		Pravý břeh		
	0,1	1,5	3		
-3		384			Hutní p. nad výpustí
0	608				Výpust z Teplárny
2			785		Průsaková voda
5	643	643	644	1	Hutní p. norná stěna
520	630	636	637	7	Hutní p. ústí do Bíliny

Bílina pod Hutním potokem:

Datum měření: 31.7.2009

Průměrná hloubka recipientu: 1,0 m

Průtok v recipientu:  $3,50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 

Průměrná šířka recipientu: 10 m

Průtok v Hutním p.:  $0,05 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ Průměrná rychlost proudění:  $0,35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [μS.cm <sup>-1</sup> ]							Poznámky
	Levý břeh			Pravý břeh				
	0,5	2	4	6	8	10		
-6	310		308			306	4	Bílina nad Hutním p.
0						636		Hutní p. ústí
50	n.	n.	n.	328	329	327		Bílina pod Hutním p.
150	n.	n.	n.	326	325	322		Bílina pod Hutním p.
300	329	333	333	322	321	319	14	Bílina pod Hutním p.
400	314	316	317	315	315	314	3	Bílina pod Hutním p.
500	313	316		311	310	308	8	Bílina pod Hutním p.
750	297	297	298	297	296	296	2	Bílina pod Hutním p.

n. neměřeno z důvodu nepřístupnosti terénu



## Labe pod výpustí ČOV Hradec Králové (p.č. 5)



Situační mapa úseku mísící zóny

### 1. měření

Datum měření: 04.2007

Průměrná hloubka recipientu: 3,3 m

Průtok v recipientu:  $36,67 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průměrná šířka recipientu: 54,2 m

Průtok odpadní vody:  $0,466 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průměrná rychlost proudění:  $0,21 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ]								$\Delta$
	Levý břeh			Pravý břeh					
	2	5	10	15	20	25	30	50	
0	580-1000			260	259			258	742
3	430		740	260	260			258	482
10			430-480	580	260			258	222
30			330	330	260			258	
50	410	340	340	350-400	260			258	152
80	380		380	280	263	261		256	124
150	370	310-320	300	286	268-275	260		257	113
270	330	340	330-340	290-320	290-320	260		257	83
500	320	315	320	290	270	262		258	61
620	315	310	290-300	280	265-270	260		258	57
850	305	305	307	300	280	270	267	259	48
1100	300	298	293	280	274	270	265	259	41
1800	292	292	290	282	278	267	264	258	34
1850	průchod vodní elektrárnou								0

2. měření

Datum měření: 07.2007

Průměrná hloubka recipientu: 3,2 m

Průtok v recipientu:  $33,82 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 

Průměrná šířka recipientu: 54,2 m

Průtok odpadní vody.:  $0,35 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ Průměrná rychlost proudění:  $0,20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 

## Měření u hladiny

Vzdálenost [m]	Levý břeh		Příčný profil - vodivost [ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ]				Pravý břeh		$\Delta$
	2	5	10	15	20	30	50		
-10	342	342	342	342	342	342	342	0	
-6	460-730	510	342	342	342	342	342	388	
0	800-1050	580-900	470-500	342	342	342	342	708	
5	455-465	600-800	530-620	342-480	342	342	342	458	
10	455-500	480-490	500-570	344	342	342	342	158	
20	485	345	342	342	342	342	342	143	
40	343		342	342	342	342	342	1	
80	357	348	342		342			15	
200	359	360	344		342	342		18	
350	371		350		343	342	345	26	
500	374		359		343	345	350	24	
750	365		362		349	348	349	16	
1000	364		359		358-360	353	349	15	

## Měření v hloubce 0,5 m

Vzdálenost [m]	Levý břeh		Příčný profil - vodivost [ $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ ]				Pravý břeh		$\Delta$
	2	5	10	15	20	30	50		
200		360	344		343	341		19	
350	371		362		343	342	344	29	
500	373		368		357	348	350	25	
750	365		364		354	352	350	15	
1000	365		360		361	354	349	16	

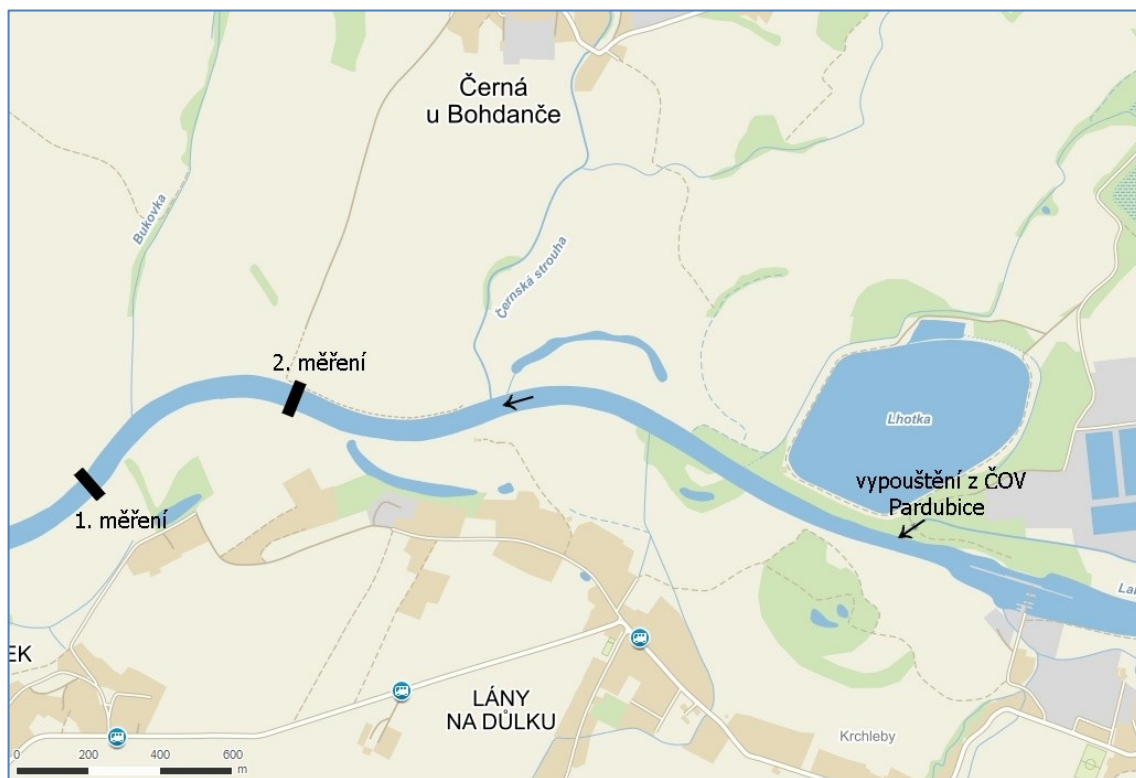
## Měření v hloubce 1,0 m

Vzdálenost [m]	Levý břeh		Příčný profil - vodivost [ $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ ]				Pravý břeh		$\Delta$
	2	5	10	15	20	30	50		
200		360	351-359		345-351	345-353		15	
350	371		368		348	343	344	27	
500	373		371		365-368	350	349	24	
750	365		364		354	352	350	15	
1000	365		358		360	355	350	15	

## Měření v hloubce 1,5 m

Vzdálenost [m]	Levý břeh		Příčný profil - vodivost [ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ]					Pravý břeh		$\Delta$
	2	5	10	15	20	30	50			
40	350-390		480-500	410	342				158	
80	360		370-380		350-380					
200		370	365-375		353-361	356-359				
350	372		375		357-360	347-353	346		29	
500	373		373		370	353	350		23	
750	365		365		357	356	351		14	
1000	360		361		359	355	350		11	

### Labe pod výpustí ČOV Pardubice (p.č. 6)



Situační mapa úseku mísící zóny

#### 1. měření

Datum měření: 05.2007

Průměrná hloubka recipientu: 1,8 m

Průtok v recipientu:  $30,23 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průměrná šířka recipientu: 49,4 m

Průtok odpadní vody:  $0,595 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}*$

Průměrná rychlost proudění:  $0,34 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

\* roční průměr ze všech výpustí do Velké Strouhy (2007)

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [ $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ ]												$\Delta$
	Pravý břeh						Levý břeh						
	0,2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	
-2	431	431	431	431	431	431	431	431					0
10	530	1380	450-550	431	431	431	431	431					1329
35	525	590	570-640	570-690	600-1000	430	432	434					570
60	549	540-550	565-575	570-580	480-520	432	432	434					148
120	565-580	560-565	577	577	570	453	447	433					147
250	568-571	566	565	550-570	515-520	500-505	460-480	457	443	437			134
350	569	569	569	550	495-520	485-490	470-485	450-465	439	436	439		134

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ]												$\Delta$
	Pravý břeh						Levý břeh						
	0,2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	
500	588	573	567	559	536	510	485-500	460	444	442	443		146
750	581	576	576	570	552	530	507	485	467	456	443	446	138
1000	507	540	535	530	475	461	452	448	453	450	446		94
1250	507	512	512	508-516	500	470	458	461	478	483	475		58
1500	495	500	504	512	514	512	510	501	500	484	481	477	37
1750	n.	505	507	511	508	499	489	483	480	474	473		38
2000	494	501	498	499	489	482	481	478	474	474	476		25
2500	482	479	482	483	481	483	481	478	477	478	481		5

n. nepřístupné, neměřeno

2. měření

Datum měření: 07.2007

Průměrná hloubka recipientu: 1,9 m

Průtok v recipientu:  $32,92 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ 

Průměrná šířka recipientu: 49,5 m

Průtok odpadní vody:  $0,400 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ \*Průměrná rychlost proudění:  $0,35 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 

\* roční průměr ze všech výpusť do Velké Strouhy (2007)

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ]												$\Delta$
	Pravý břeh						Levý břeh						
	0,2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	
-2	380	380	380	380	380	380	380	380					0
2	700	600-900	380	380	380	380	380	380					2120
10	610-630	1000-1100	1100-2300	380	380	380	380	380					1920
35	612	540-590	480-610	440-560	380	380	380	380					132
60	594-609	595-605	395-530	430-510	380-384	380	380	380					229
120	520-527	500-560	485-520	500-505	382	380	380	380					179
250	527	523	470-490	440-470	430-450	400-410	387-390	384-387	382	381			147
350	516	516	505	470	468-474	400-450	395-410	395	387	381	381		135
500	510	506	501	460	426-440	415	401-406	390	387	383	382		128
750	493	495	494	468	428-440	446	417	395	388	385	384	384	111
1000	443	448	438	405-450	400-440	397	391	391-430	490-405	387-395	383		65
1250	431	430	426	428	427	425	421	426-430	428	426	415		16
1500	429	429	430	430	431	432	432	434	431	428	427	427	7
1750	429	429	429	431	431	430	429	429	430	432	435		6

## Labe pod výpustí ČOV Neštěmice (p.č. 7)



Situační mapa úseku mísící zóny

### 1. měření

Datum měření: 13.7.2010

Průtok v recipientu:  $91,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průtok odpadní vody:  $0,348 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průměrná hloubka recipientu: 1,42 m

Průměrná šířka recipientu: 105,5 m

Průměrná rychlost proudění:  $0,61 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ]												$\Delta$
	Levý břeh						Pravý břeh						
	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	
-470	445	442	432	420	414	415	409	410	n.				36
-140	448	420	410	410	411	411	412	n.	n.	n.			37
60	731	708	500	435	431	422	417	416	n.				315
370	578	562	470	431	419	414	410	410	409	n.			169
520	n.	606	582	513	496	437	422	411	411	411			195
920	n.	581	556	500	490	424	419	414	411	411	411	412	170
1420	n.	566	485	437	420	414	412	n.	n.	n.	n.		154
1950	n.	511	507	474	441	420	413	412	412	n.	n.		99
3300	n.	n.	514	494	464	442	430	418	414	414	n.		102
4340	n	510	500	486	468	450	436	428	419	418	n.		92
5320	n.	498-504	485	465	454	448	436	428	425	422	422	n.	82

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [ $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ]												$\Delta$
	Levý břeh						Pravý břeh						
	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	
6370	n.	493	485	470	458	440	427	423	423	421	n.		74
7260	n.	483	479	472	461	454	447	439	430	424	423	423	60
8620	n.	484	481	478	475	465	454	444	435	428	428	n.	56
9700	n.	474	465	453	446	436	432	429	426	n.			50
10700	n.	473	469	464	456	452	446	436	431	430	n.		43
12050	n.	466	462	457	451	447	443	440	439	440	n.		27
13080	465	464	461	459	455	447	442	440	441	441	n.		25
13930	n.	463	462	459	453	446	442	441	441	n.			22
14840	464	464	463	457	452	445	443	443	n.	n.			21
15770	461	461	458	451	446	444	451	454	n.	n.			18
16600	n.	462	461	458	454	451	448	446	446	446	447	448	16
18200	n.	n.	460	459	456	452	450	449	449	449	450		11
19130	n.	n.	460	457	453	451	452	n.	n.	n.	n.		9
19750	458	458	457	456	454	453	452	452	451	451	450	451	8
20250	n.	n.	458	458	456	455	454	453	453	n.	n.	n.	5

n. neměřeno z důvodu nepřístupnosti lodí

2. měření

Datum měření: 16.8.2011

Průměrná hloubka recipientu: 2,11 m

Průtok v recipientu: 208,89 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>

Průměrná šířka recipientu: 110 m

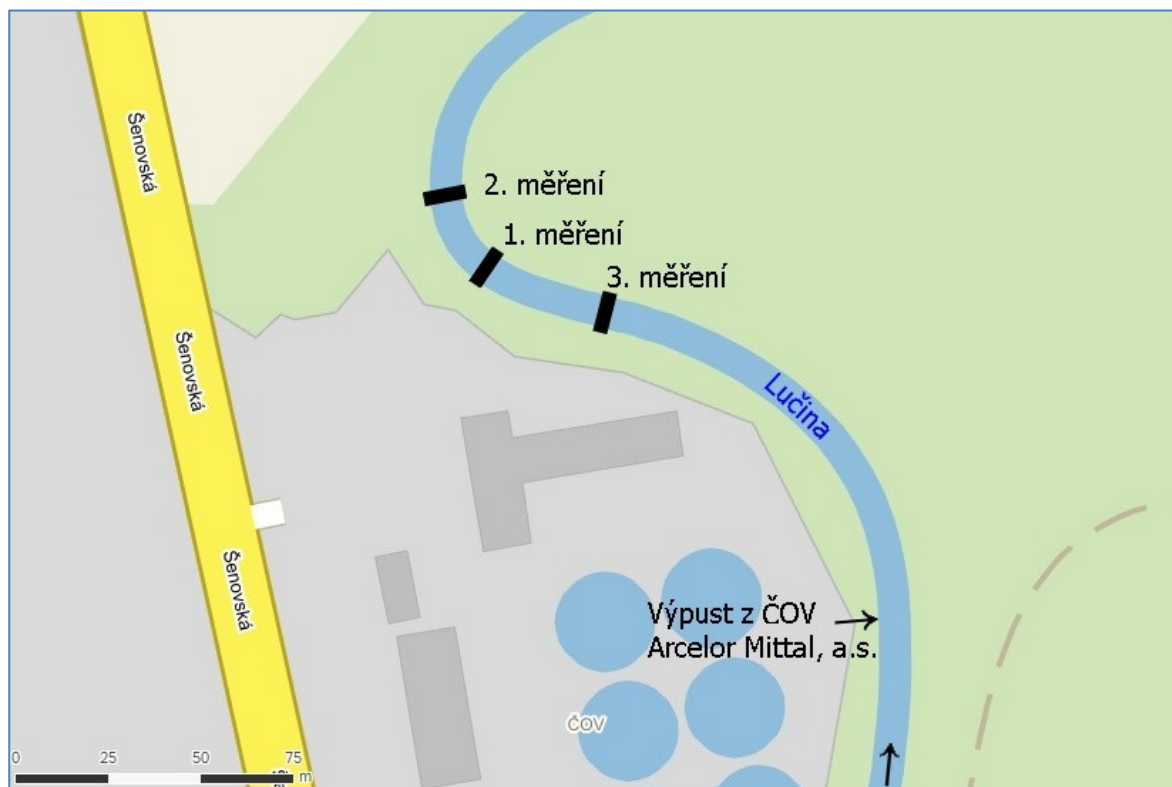
Průtok odpadní vody: 0,320 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>Průměrná rychlost proudění: 0,9 m.s<sup>-1</sup>

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [ $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ]												$\Delta$
	Levý břeh						Pravý břeh						
	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	
-5430	n.	n.	435	434	425	426	432	431	433	433	433	433	10
-5400	936 Bílina ústí												
-4580	508	500	430	432	433	433	430	428	430	433	430	433	80
-3400	499	499	500	503	495	470	445	436	430	425	433	433	75
-2400	494	492	497	488	477	468	452	440	431	428	430	429	69
-750	476	467	462	445	446	432	433	433	423	421	433	433	55
0	769 ČOV Neštěmice												
50	584	498	464	460	457	446	438	433	433	n.			151
1300	532	504	491	467	456	449	439	436	435	434	n.	n.	98
2250	498	497	490	472	463	447	440	438	436	436	435	435	63
3280	498	497	494	473	463	447	442	440	439	437	436	435	63
4240	497	494	491	484	476	467	452	443	432	432	437	433	65
5160	493	493	488	481	473	470	460	441	434	446	441	434	59
6190	483	475	465	440	454	451	446	442	437	440	439		46
Vzdálenost	Příčný profil - vodivost [ $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ]												$\Delta$
	Levý břeh						Pravý břeh						

[m]	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	
<b>7050</b>	479	477	461	449	449	444	442	440	441	441	439	439	<b>40</b>
<b>8200</b>	477	464	457	460	450	445	447	445	444	441	441	440	<b>37</b>
<b>11200</b>	476	473	471	468	454	455	451	449	447	446	444	443	<b>33</b>
<b>12200</b>	474	471	455	447	443	451	449	449	447	445	444	n.	<b>31</b>
<b>14170</b>	461	460	458	457	455	444	451	450	449	451	450		<b>12</b>
<b>15150</b>	454	450	451	452	451	453	452	451	451	450			<b>4</b>
<b>16140</b>	453	453	454	452	453	452	451	453	451	451			<b>3</b>



### Lučina pod výpustí podniku Arcelor Mittal, a.s. Ostrava (p.č. 8)



Situační mapa úseku mísící zóny

#### 1. měření

Datum měření: 15.4.2009

Průtok v recipientu:  $4,82 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průtok odpadní vody:  $0,19 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průměrná hloubka recipientu: 0,8 m

Průměrná šířka recipientu: 9 m

Průměrná rychlost proudění:  $0,67 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [μS.cm <sup>-1</sup> ]								Δ
	Levý břeh				Pravý břeh				
	0,5	2	4	6	8	10	12	14	
-20		194		194		195			1
0	755 výpust Mittal								
70	230	215	220	235	215	220			20
100	217	216	220	224					8
160	215	216	218	219	218				4

#### 2. měření

Datum měření: 30.7.2009

Průtok v recipientu:  $2,17 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průtok odpadní vody:  $0,41 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průměrná hloubka recipientu: 0,55 m

Průměrná šířka recipientu: 8,2 m

Průměrná rychlost proudění:  $0,48 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$



Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [μS.cm <sup>-1</sup> ]								Δ
	Levý břeh				Pravý břeh				
	0,5	2	4	6	8	10	12	14	
-265		443		443		467			24
0	891 výpust Mittal								
20	480-504	530-580	565-570	551-566	548-551	548-552			100
60	526	546	505-511	553					48
150	543	537	540	541					6
180	539	538	538	537					2

3. měření

Datum měření: 28.6.2010

Průměrná hloubka recipientu: 0,51 m

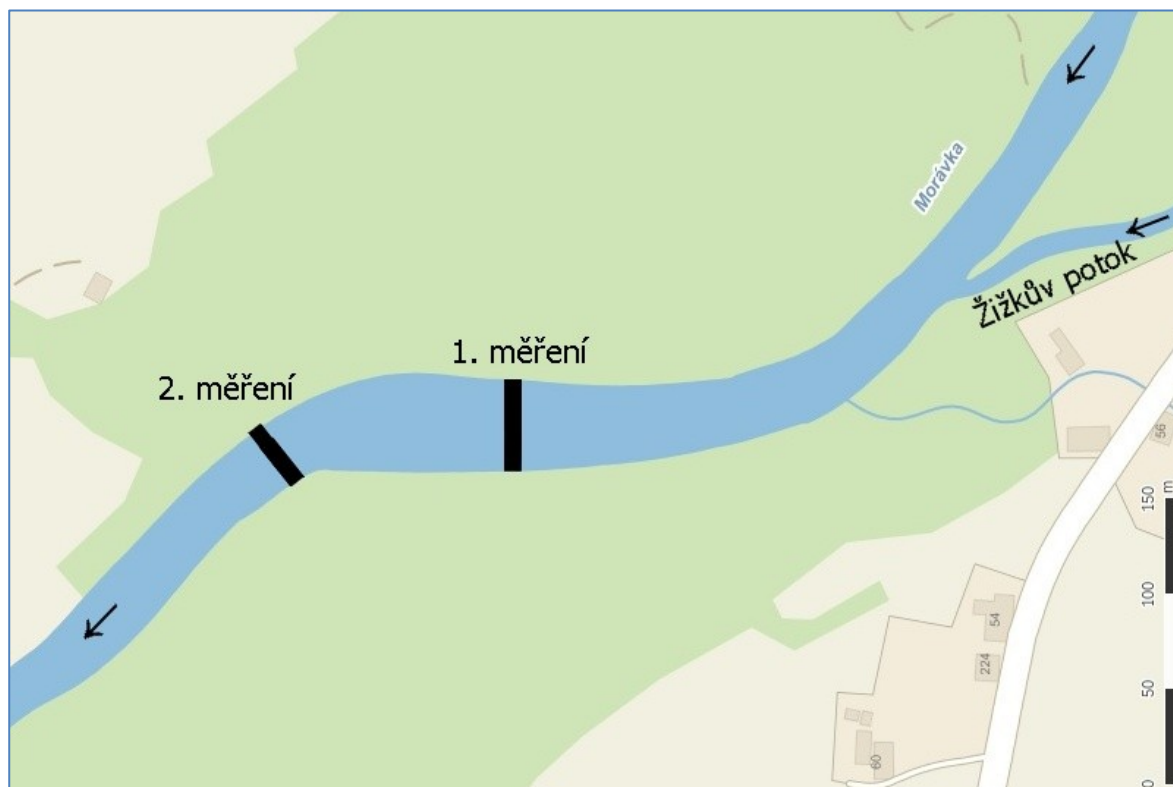
Průtok v recipientu:  $1,84 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 

Průměrná šířka recipientu: 9,0 m

Průtok odpadní vody:  $0,28 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ Průměrná rychlost proudění:  $0,40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [μS.cm <sup>-1</sup> ]								Δ
	Levý břeh				Pravý břeh				
	0,5	2	4	6	8	10	12	14	
-10	374	374	374	374	375	379	380		6
0	1053 výpust Mittal								
15	479-487	485-495	506-560	444-456	451	450			116
30	477	499	491-502	507	495-510	482-503	486-501		33
60	483	479	478	481					5
110	479	477	479	480	479				3

### Morávka pod ústím Žižkova potoka (p.č. 9)



Situační mapa úseku mísící zóny

#### 1. měření

Datum měření: 29.4.2009

Průměrná hloubka recipientu: 0,15 m

Průtok v recipientu:  $0,52 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průměrná šířka recipientu: 9,3 m

Průtok Žižkova p.:  $0,012 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průměrná rychlost proudění:  $0,37 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [μS.cm <sup>-1</sup> ]						Δ	Poznámky
	Levý břeh			Pravý břeh				
	0,5	2	4	6	8	9		
-10	81			80		78	3	Morávka nad Ž. p.
0	369-371							Žižkův p. ústí
10	291	113	82	80	79	78	213	Morávka pod Ž. p.
50	127	80	79	79	78	79	49	Morávka pod Ž. p.
100	99	95		81	79	79	21	Morávka pod Ž. p.
150	100	86	84	83	83	84	17	Morávka pod Ž. p.
250	86	86	86		86	87	1	Morávka pod Ž. p.

2. měření

Datum měření: 19.8.2009

Průměrná hloubka recipientu: 0,2 m

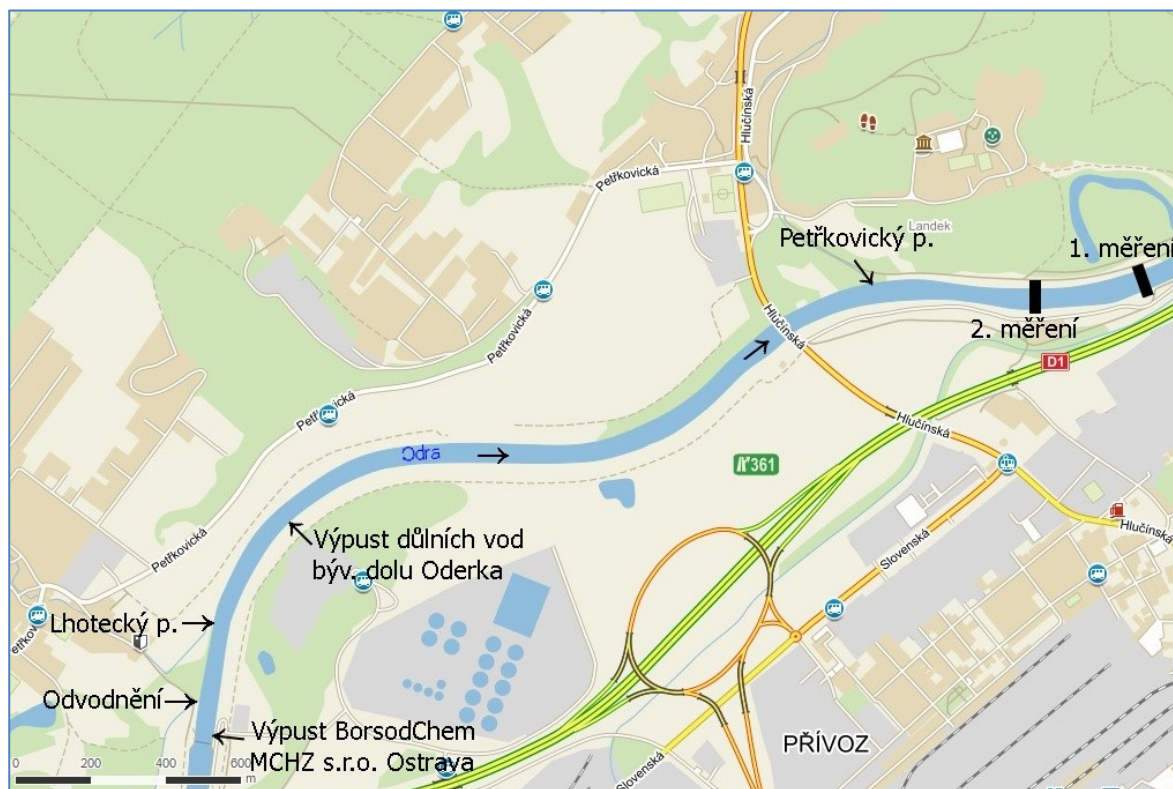
Průtok v recipientu:  $0,86 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 

Průměrná šířka recipientu: 10 m

Průtok odpadní vody:  $0,023 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ Průměrná rychlost proudění:  $0,43 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [μS.cm <sup>-1</sup> ]						Poznámky	
	Levý břeh			Pravý břeh				
	0,5	2	4	6	8	10		Δ
-10	106	105	104	103	101	101	5	Morávka nad Ž. p.
0	553-559							Žižkův p. ústí
5	422	106	106	103	101	100	322	Morávka pod Ž. p.
70	189	105	103	102	101	101	88	Morávka pod Ž. p.
110	148	132	119	106	102	104	46	Morávka pod Ž. p.
220	126	121	113	105	111		21	Morávka pod Ž. p.
300	125	122	113	110	119		15	Morávka pod Ž. p.
370	119	116	117	117	115	114	5	Morávka pod Ž. p.
400	116	116	116	115	115		1	Morávka pod Ž. p.

## Odra pod výpustí BorsodChem MCHZ, s.r.o. Ostrava (p.č. 10)



Situační mapa úseku mísicí zóny

### 1. měření

Datum měření: 29.4.2009

Průměrná hloubka recipientu: 1,48 m

Průtok v recipientu:  $16,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průměrná šířka recipientu: 41,3 m

Průtok odpadní vody.:  $0,092 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průměrná rychlost proudění:  $0,27 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [μS.cm <sup>-1</sup> ]						Δ	Poznámky
	Levý břeh			Pravý břeh				
	0,5	2	15	25	38	40		
-15	266	267	295	295	298	296	32	Odra nad výpustí MCHZ
0						1905		Výpust MCHZ
25	n.	n.	n.	n.	321	332		
50	283	283	n.	n.	305	296	22	Odra pod výpustí MCHZ
100	284	284	n.	n.	301	302	18	Odra
102	718							odvodnění býv. lagun
107	375	385	n.	n.	n.	n.		Odra
220	n.	n.	n.	n.	308	290		Odra
315	531							přítok potoka od Lhotky
350	290	291	n.	n.	300	299	10	Odra
2140	299	295	300	302	299	296	7	Odra - Petřkovický most
3100	296	295	295	295	295	295	1	Odra - Petřkovický jez

n. neměřeno

2. měření

Datum měření: 16.7.2010

Průměrná hloubka recipientu: 1,3 m

Průtok v recipientu:  $10,13 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 

Průměrná šířka recipientu: 41 m

Průtok odpadní vody.:  $0,07 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ Průměrná rychlost proudění:  $0,19 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ]											$\Delta$
	Levý břeh					Pravý břeh						
	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	
0											3920	
100	405	406	416	431	431	432	432	446	434	439	438	41
102	447											
230	413	412	411	421	427	437	442	444	443			33
400	n.	408	409	n.	411	424	427	433	441			33
540	n.	406	405	n.	418	425	428	431	441			36
630	n.	404	407	n.	409	418	422	427	437			33
635										4600		
860	405	405	406	n.	411	420	426	438	441	447		42
1170	n.	406	407	411	414	421	423	429	434	438		32
1400	409	410	409	408	409	413	417	426	426	422		18
1650	407	407	408	410	411	413	416	420	421	419		14
1810	407	407	407	407	408	410	413	415	417	417		10
2140	407	408	407	408	407	409	412	413	413	414		7
2400	416	415	414	413	413	413	413	413	414	414	416	3
2460	416	413	411	411	412	412	412	412	413	414	416	4
2820	n.	415	415	414	415	414	414	414	415	414	416	2

n. neměřeno

## Olše pod výpustmi Třineckých železáren, a.s. (p.č. 11)

### A. Pod výpustí KČOV1 Energetika Třinec, a.s.



Situační mapa úseku mísící zóny

#### 1. měření

Datum měření: 22.4.2009

Průměrná hloubka recipientu: 0,38 m

Průtok v recipientu:  $3,04 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průměrná šířka recipientu: 20 m

Průtok odpadní vody.:  $0,122 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průměrná rychlost proudění:  $0,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ]							Poznámky
	Levý břeh			Pravý břeh			$\Delta$	
	25	20	15	10	5	0,5		
-200		192	187	192	189	191	5	Olše nad výpustí KČOV
0						1091		Výpust KČOV1
10		192	191	191	191	1041	850	
100		191	192	191	191	835	644	
200	213	203	228	230	241	249	46	
300			215	216	221	227	12	
400		220	222	224	226	229	9	
480		226	224	224	225	227	3	

## 2. měření

Datum měření: 31.7.2009

Průměrná hloubka recipientu: 0,35 m

Průtok v recipientu:  $2,48 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 

Průměrná šířka recipientu: 19,7 m

Průtok odpadní vody.:  $0,233 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 

Průměrná rychlost proudění:  $0,36 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [μS.cm <sup>-1</sup> ]						Δ	Poznámky
	Levý břeh			Pravý břeh				
	25	20	15	10	5	0,5		
-150	244	244	244	244	245	248	4	Olše nad výpustí KČOV
0						1345		Výpust KČOV1
10		245	245	245	795-835	1334	1089	
40		245	244	245	274	975-980	736	
70	272	340-343	368-372	381-386	419-421	426	154	
100		319	352	362	379	383	64	
250		333	348	348	350	350	17	
350		343	346	348	349	349	6	
410		348	346	348	348	348	2	

## B. Pod výpustí KČOV2 Energetika Třinec, a.s.



Situační mapa úseku mísící zóny

1. měření

Datum měření: 22.4.2009

Průměrná hloubka recipientu: 0,4 m

Průtok v recipientu:  $3,12 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 

Průměrná šířka recipientu: 26 m

Průtok odpadní vody.:  $0,009 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ Průměrná rychlost proudění:  $0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [μS.cm <sup>-1</sup> ]							Δ	Poznámky
	Levý břeh			Pravý břeh					
	0,5	5	10	15	20	25	26		
-20	289	289	239	238	n.	256	292	54	Olše nad výpustí
0	509								výpust
40	330	259	240	242	257	277	289	90	
100	310	285	246	241	258	276		71	
160	299	272	251	251	245	256	261	54	
180							870		neurčená výpust zprava 2 l/s
300	278	273	253	250	256	258	273	28	
400	272	268	259	250	253	257	268	22	
540	268	257	252	252	254	256	258	16	
640	262	256	252	256	259	259	259	10	
700	257	258	256	255	258	258		3	

n. neměřeno

2. měření

Datum měření: 31.7.2009

Průměrná hloubka recipientu: 0,35 m

Průtok v recipientu:  $2,54 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 

Průměrná šířka recipientu: 25 m

Průtok odpadní vody.:  $0,015 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ Průměrná rychlost proudění:  $0,29 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [μS.cm <sup>-1</sup> ]						Δ	Poznámky
	Levý břeh			Pravý břeh				
	0,5	5	10	15	20	25		
-20	382	355	342	345	365	378	50	Olše nad výpustí
0	522							výpust
10	409	361	345	344	355	374	65	
110	390	362	348	344	352	366	46	
160	374	355	346	347	350	358	28	
280	352	349	348	348	349		4	



## Opava pod výpustmi ČOV Opava a NS Ostroj (p.č. 12)



Situační mapa úseku mísící zóny

### 1. měření

Datum měření: 24.4.2009  
 Průtok v recipientu:  $9,34 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$   
 Průtok ČOV Opava.:  $0,24 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$   
 Průtok NS Ostroj:  $0,0002 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průměrná hloubka recipientu: 1,4 m  
 Průměrná šířka recipientu: 14,2 m  
 Průměrná rychlost proudění:  $0,47 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [μS.cm <sup>-1</sup> ]								Δ
	Levý břeh				Pravý břeh				
	14	12	10	8	6	4	2	0,5	
-10		190	189	189	189	189	189	189	1
0						ČOV Opava		650	
115		190	190	n.	n.	211-227	220-240	237	50
340		191	191	191	n.	210	210	211	20
575	197	197	197	n.	n.	203	206	207	10
600	958	levostr. přítok							
614	202	201	190-200	n.	204	207	208	208	18
615						NS Ostroj a.s.		3330	
625	201	199-201	198-200	n.	n.	204	208	230	32
685	200	200	200	n.	n.	267-289	213-214	215	89
805	200	200	200	n.	n.	205	206	206	6
940	200	200	200	200	202	204	204	204	4
1050	200	201	200	n.	n.	202	203	204	4
1150	205	203	201			202	202	202	4

n. neměřeno

2. měření

Datum měření: 16.9.2009

Průměrná hloubka recipientu: 0,8 m

Průtok v recipientu:  $1,86 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 

Průměrná šířka recipientu: 13,7 m

Průtok ČOV Opava1:  $0,200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ Průměrná rychlost proudění:  $0,17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ Průtok ČOV Opava2:  $0,010 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ Průtok NS Ostroj:  $0,0002 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ]												$\Delta$
	Levý břeh						Pravý břeh						
	13	12	11	10	9	8	6	5	4	3	2	1	
-5	338	338	337	337	337	337	338	338	339	339	339	340	3
0									ČOV Opava kan.			1004	
8	340	340	339	339	338	338	339	343	346	344	342	349	11
16	340	339	338	338	338	340	342	342	344	342	342	346	8
28	340	340	340	339	339	339	339	340	342	347	351	361	22
45	340	340	340	340	339	339	339	340	340	348	358	360	21
60	342	340	339	339	339	339	340	340	343	346	346	347	8
100	341	340	339	339	339	339	339	340	341	341	342	342	3
190	341	340	340	340	339	340	340	340	341	341	341	341	2
200									ČOV Opava			773	
210	340	339	339	339	342	344	405	461	532	524	509	520	193
220	341	340	339	339	340	361	382	414	454	466	506	502	163
240	341	340	340	339	342	355	360	388	429	441	477	490	151
260	341	340	340	340	342	348	359	377	405	441	467	480	140
355	342	341	341	342	342	347	356	377	414	422	445	454	113
410		n.	340	340	341	344	360	412	434	437	448	448	108
490	361	370	370	382	399	400	402	406	410	416	416	419	58
625		386	387	388	390	391	395	397	399	401	403		17
645		386	387	388	390	391	396	399	400	401	402		16
785	955	levostranný přítok											
800									NS Ostroj, a.s.			4250	
840	392	392	392	392	393	393	392	392	394	395	398	478	86
865	392	392	392	392	393	393	392	392	393	397	408	417	25
900	392	392	392	392	392	392	393	395	400	404	406	407	15
925	392	392	392	392	392	392	393	395	400	395	399	402	10
1020		392	392	392	392	391	392	393	392	393			2

### Opusta pod výpustí MSA, a.s. Dolní Benešov (p.č. 13)



Situační mapa úseku mísící zóny

#### 1. měření

Datum měření: 24.4.2009  
 Průtok v recipientu:  $0,012 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$   
 Průtok odpadní vody:  $0,0041 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průměrná hloubka recipientu: 0,09 m  
 Průměrná šířka recipientu: 1,5 m  
 Průměrná rychlost proudění:  $0,09 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [μS.cm <sup>-1</sup> ]			Δ
	Levý břeh	Pravý břeh		
	1,4	0,7	0,1	
-2	497	497	497	0
0			700	
5	499	531	679	180
16	517	566-570	645	128
35	555	559	557	4
40	564	566	566	2

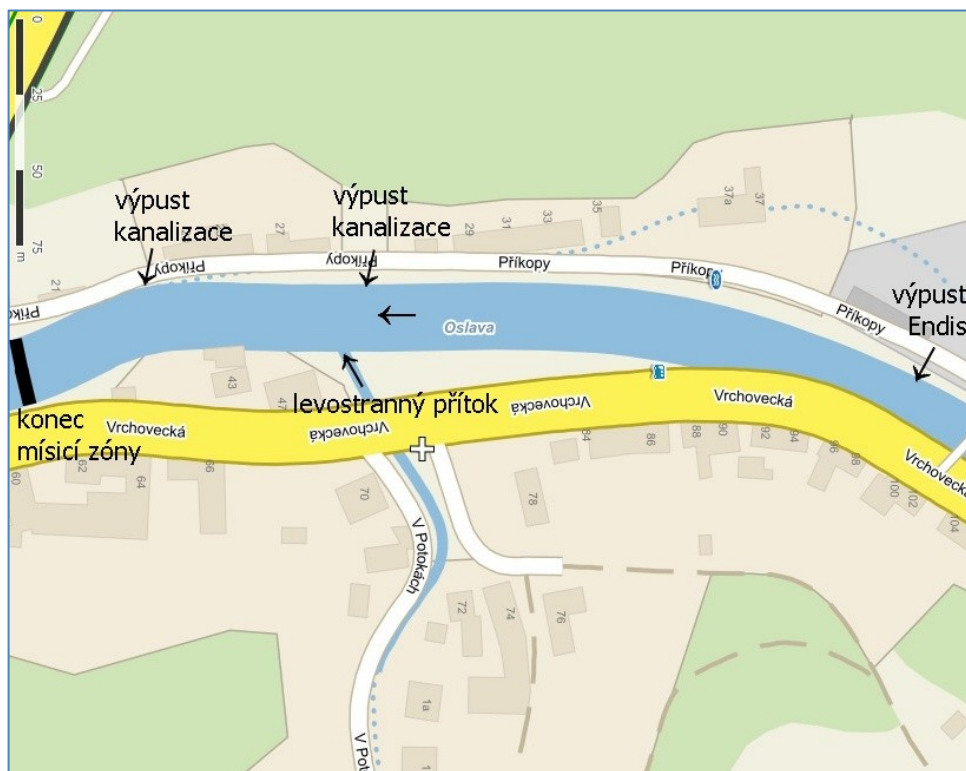
#### 2. měření

Datum měření: 16.9.2009  
 Průtok v recipientu:  $0,021 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$   
 Průtok odpadní vody:  $0,0047 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průměrná hloubka recipientu: 0,11 m  
 Průměrná šířka recipientu: 1,5 m  
 Průměrná rychlost proudění:  $0,13 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ]			$\Delta$
	Levý břeh	Pravý břeh		
	1,4	0,7	0,1	
-5	211	211	211	0
0			638	
5	298	308	323	25
10	300	307	312	12
15	303	307	308	5
20	305	305	304	1
30	304	304	304	0

### Oslava pod výpustí Endis, a.s. Velké Meziříčí (p.č. 14)



Situační mapa úseku mísicí zóny

Datum měření: 14.5.2009  
 Průtok v recipientu:  $0,54 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$   
 Průtok odpadní vody:  $0,0004 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průměrná hloubka recipientu: 0,19 m  
 Průměrná šířka recipientu: 11,2 m  
 Průměrná rychlost proudění:  $0,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [μS.cm <sup>-1</sup> ]						Δ	Poznámky
	Levý břeh			Pravý břeh				
	10	8	6	4	2	0,5		
-5	293	291	291	290	289	288	5	Oslava nad výpustí Endis
0						322		výpust Endis, a.s.
20	293	293	293	294	294	295	2	
40	293	293	293	294	293	295	2	
50	293	293	294	294	294	294	1	
85	294	293	293	294	294	294	1	
140	293	293	293	293	293	294	1	
180						700		drobná komunální výpust
183	293	293	293	293	294	294	1	
192								levostranný přítok
205	293	293	293	293	293	294	1	
255						300		drobná komunální výpust
300	293	293	293	293	293	293	0	

# Ostravice pod výpustmi ČOV Frýdek Místek a ArcelorMittal FM (p.č. 15)



Situační mapa úseku mísící zóny

## 1. měření

Datum měření: 24.5.2007

Průměrná hloubka recipientu: 0,68 m

Průtok v recipientu: 4,5 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>

Průměrná šířka recipientu: 31,5 m

Průtok ČOV FM: 0,400 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>

Průměrná rychlost proudění: 0,21 m.s<sup>-1</sup>

Průtok OV Mittal FM: 0,075 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [μS.cm <sup>-1</sup> ]												Δ
	Levý břeh						Pravý břeh						
	0,5	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	
-10		230	226	222	221	221	220	220	220	221	247	251	31
0	836	558	612	627	633	520	220	220	220	220	239		616
34	n.	n.	689	650	480	220	220	220	220	225	231	235	469
100	677	660	648	629	480	357	229	220	221	225	229		457
190	n.	n.	665	648	470	224	222	223	224	225	231		443
300	662	661	563	317	243	223	223	223	225	225	225		439
397	653	645	500	375	297	224	223	448	457	457	457	457	430
460	575	559	523	331	262	234	233	265	295	366	369	469	342
585	539	539	494	470	402	342	284	256	270	276	277		283
785	425	363	354	348	345	338	316	303	292	286	285		140
850	360	358	349	330	315	307	301	296	296	303			64

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [ $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ]												$\Delta$
	Levý břeh						Pravý břeh						
	0,5	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	
1100	338	336	327	319	314	309	304	299	297	297	299	300	41
1260	339	336	334	331	327	324	320	314	308	304	299	299	40
1800	334	337	338	337	336	335	330	326	323	318	307	299	35
1970	332	326	315	306	314	313							26
2970	320	319	319	316	314	320							6

n. neměřeno

2. měření

Datum měření: 11.7.2007

Průměrná hloubka recipientu: 0,95 m

Průtok v recipientu:  $9,94 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 

Průměrná šířka recipientu: 31,7 m

Průtok ČOV FM:  $0,550 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ Průměrná rychlost proudění:  $0,33 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ Průtok OV Mittal FM:  $0,076 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [ $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ]												$\Delta$
	Levý břeh						Pravý břeh						
	0,5	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	
-10		222	217	214	213	213	213	213	213	214	227	n.	14
0	406	408	380	380	300	213	213	213	213	214	222		195
40	n.	400	394	380	320	215	212	212	213	220	n.	n.	187
93	n.	412	412	366	330	275	224	213	212	215	219		200
187	414	397	340	260	215	213	214	216	216	219	229		200
272	405	376	335	238	218	216	214	215	222	n.	n.		191
397	390	327	305	232	215	215	214	214	228	448	n.	n.	234
481	384	371	340	282	225	215	310	335	n.	n.	n.	n.	169
784	374	350	310	258	226	220	222	237	256	n.	n.		154
845	360	326	270	229	222	230	244	253	256	n.			138
1025	284	276	270	261	258	256	244	247	246	243	n.	n.	41
1145	281	277	268	254	245	252	265	276	n.	n.			36
1275	273	271	264	259	256	249	247	252	260	n.	n.		26
1425	268	268	263	256	248	249	254	258	259	n.			20
1800	266	267	265	270	268	267	263	256	252	249	250	254	16
2112	266	267	265	264	260	260	259						7
2229	261	260	259	257	257	259	260						4
2334	259	259	259	259	258	259							1

n. neměřeno

3. měření

Datum měření: 30.9.2009

Průměrná hloubka recipientu: 0,59 m

Průtok v recipientu:  $3,48 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 

Průměrná šířka recipientu: 31 m

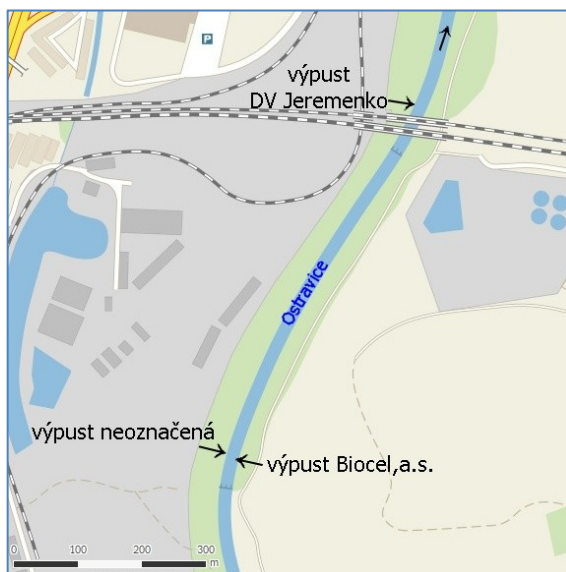
Průtok ČOV FM:  $0,167 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ Průměrná rychlost proudění:  $0,19 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ Průtok OV Mittal FM:  $0,100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [ $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ]												$\Delta$
	Levý břeh						Pravý břeh						
	0,5	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	
-10	240	221	218	218	217	217	217	217	217	217	217	231	23
0	752	ČOV FM											
30	573	574	561	556	531	451	255	216	216	216	216	218	357
120	538	564	552	503	443	366	262	220	217	219	220		347
190	544	554	564	550	511	429	283	231	221	218	220		346
220	528	558	572	570	550	526	460	331	247	226	218	220	354
290	526	544	540	519	491	420	404	293	245	221	218	220	326
370	532	527	521	480	433	342	303	283	245	227	219	220	313
397									ČOV Mittal FM			328	
455	498	478	446	401	354	291	259	233	222	229	236	310	276
520	470	454	421	391	360	329	300	277	257	237	242		233
695	441	443	432	361	304	263	253	247	240	241	240		203
777	n.	323	325	318	320	311	304	290	288	277	268		57
885	n.	318	318	321	310	300	287	283	280	277	272		49
1060	317	316	315	312	308	301	293	285	283	281	278	277	40
1290	307	312	313	311	307	300	292	285	282	279	275		38
1485	287	297	296	296	293	290	288	283	279	276			21
1800	276	277	276	277	277	277	276	277	276	277	277	276	1

n. neměřeno



### Ostravice pod výpustí odpadovodu podniku Biocel Paskov, a.s. (p.č. 16)



Situační mapa měřeného úseku toku

#### Výsledky měření

Datum měření: 18.5.2007

Průměrná hloubka recipientu: 0,40 m

Průtok v recipientu:  $2,97 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průměrná šířka recipientu: 43,3 m

Průtok OV Biocel:  $0,308 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průměrná rychlost proudění:  $0,17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Průtok DV Jeremenko:  $0,168 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ]												$\Delta$
	Levý břeh						Pravý břeh						
	52	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0,5	
-10					347	347	346	346	343	333	331	330	17
0					347	347	346	346	342	335	557	3240	2905
20				388	410	348	358	347	343	340	3120	3230	2890
40				389	406	566	n.	n.	344	3050	3240	n.	2896
60				389	388	388	388	346	1400	2115	2850	3220	2874
110				387	388	409	377	350	870	1960-2030	2650	3030	2680
150				390	420	344	347	510	1680-1740	2440	2690	2800	2456
210				n.	400	401	384	510	2320	2700	n.	n.	2316
380				397	442	1025	1530	2053	2096	2135	2320	2310	1923
470			394	400	422	445	510	528	974	1285	1780	2023	1629
580	16920	DV Jeremenko											
640	16200	6500	870	525	630	814	883	912	997	1012	1014	1004	15675
810						14800	5800	680	885	970	1005	987	14120
920		13190	10700	6850	3460	1100	746	765	900	1004	1023	1020	12444

n. neměřeno

## Ostravice pod výpustí důlních vod Jeremenko (p.č. 17)



Situační mapa úseku mísící zóny

### 1. měření

Datum měření: 30.4.2010

Průtok v recipientu:  $8,57 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průtok DV Jeremenko:  $0,226 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průměrná hloubka recipientu: 0,85 m

Průměrná šířka recipientu: 31,5 m

Průměrná rychlost proudění:  $0,32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ]												$\Delta$
	Levý břeh						Pravý břeh						
	0,5	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	52	
-10	291	292	294	393	477	504	504	503	505	507	513		222
0	15590	DV Jeremenko											
50	14980	1620	440	478	486	492	496	492	488	495	503		14540
110	14870	12090	425	507	510								14445
240	7930	6290	2810	1010	466	490	512						7464
450	4860	5750	5050	2130	955	576	469	474	492	503	509	511	5281
570	1963	1755	1813	1284	870	873	830	632	588	534	520	513	1450
755	1779	1564	680	534	528	512	514	514	515				1267
810	1704	1597	1350	920	580	514							1190
1000	1448	1371	1050	821	667	528							920
1175							1139	výpust kanalizace					
1645	1214	1113	1001	901	664	563	545						669
1745						714	výpust z odkaliště						

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ]												$\Delta$
	Levý břeh						Pravý břeh						
	0,5	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	52	
1850	1203	1018	890	683	632	600							603
2270	1150	1004	800	691	645	617							533
2750	950	907	873	788	706	641	621						329
2840	1683	výpust kanalizace			n.	n.							
3400	906	916	898	792	679	700							237
3450						543	Lučina ústí						
3480	806	808	828	n.	n.	n.							
3750	800	811	803	789	728	739							83
3915						2640	výpust kanalizace						
4070	783	787	780	773	763	743							40
4300	829	n.	812	n.	803								26
4730	814	n.	807	n.	804								10
5600	795	n.	n.	n.	795	n.	n.	790					5

n. neměřeno

2. měření

Datum měření: 21.9.2010

Průměrná hloubka recipientu: 0,85 m

Průtok v recipientu:  $8,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 

Průměrná šířka recipientu: 31,6 m

Průtok DV Jeremenko:  $0,237 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ Průměrná rychlost proudění:  $0,32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ]												$\Delta$
	Levý břeh						Pravý břeh						
	0,5	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	52	
-10	311	312	312	311	311	311	311	314	315	316	321	321	10
0	14700	DV Jeremenko											
30	6500	4550	1400	350-380	313	316	315	315	316	316	320	326	6187
100	4890	4550	3790	1350	315	n.							4575
300	4160	3540	2950	1248	620	405	366	320	319	320			3841
430	3220	2270	1270-1420	400	323	319	317	316	313	322	363	732	2907
660	1160	1120	1075	813	729	641	602	542	364	323	323	328	837
780	1154	1125	1085	838	726	693	462	391	342				812
950	1092	763	454	366	574								726
1100	1067	936	638	416	375	408							692
1175							1181	výpust kanalizace					
1730	1063	1031	928	738	484	461							602
1745						824	výpust z odkaliště						
2180	1070	972	843	699	580	556							514
2560	914	893	837	736	638	596	608						318
2840	1803	výpust kanalizace											
3410	891	882	821	756	702	686							205

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [ $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ ]												$\Delta$
	Levý břeh						Pravý břeh						
	0,5	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	52	
3450						553	Lučina ústí						
4070	741	n.	736	n.	736								5
4300	738	n.	735	n.	737								3
4730	743	n.	742	n.	741								2

n. neměřeno

3. měření

Datum měření: 17.2.2011

Průměrná hloubka recipientu: 0,9 m

Průtok v recipientu:  $10,32 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 

Průměrná šířka recipientu: 31 m

Průtok DV Jeremenko:  $0,188 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ Průměrná rychlost proudění:  $0,37 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ]												$\Delta$
	Levý břeh						Pravý břeh						
	0,5	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	52	
0	15700	DV Jeremenko											
100	5250	n.	n.	n.	498								4752
250	3800	n.	n.	n.	n.	n.	n.	n.	482				3318
400	3710	n.	n.	n.	n.	n.	n.	n.	n.	n.	n.	478	3232
500	2400	n.	n.	n.	n.	n.	n.	n.	n.	n.	n.	494	1906
600	1360	n.	n.	n.	n.	n.	n.	n.	n.	n.	n.	476	884
870	1250	n.	n.	n.	474								776
1000	1232	n.	n.	n.	528								704
1150	1173	n.	n.	n.	n.	510							663
1175							1152	výpust kanalizace					
1180	1131	n.	n.	n.	n.	740							391
1300	1126	n.	n.	n.	n.	529							597
1700	1123	n.	n.	n.	n.	526							597
1745						750	výpust z odkaliště						527
1800	1124	n.	n.	n.	n.	597							
2180	1115	n.	n.	n.	n.	601							514
2670	979	n.	n.	n.	n.	n.	667						312
2840	1870	výpust kanalizace											
3000	970	n.	n.	n.	n.	660							310
3410	938	n.	n.	n.	n.	677							261
3450						528	Lučina ústí						
3470	791	n.	n.	n.	n.	720							71
3700	772	n.	n.	n.	n.	755							17
3900	768	n.	n.	n.	n.	755							15
3915						2920	výpust kanalizace						
3930	768	n.	n.	n.	n.	800							32
4000	767	n.	n.	n.	n.	766							1

**Petřvaldská Stružka pod výpustí důlních vod dolu Žofie (p.č. 18)**1. měření

Datum měření: 15.4.2009 Průměrná hloubka recipientu: 0,22 m  
 Průtok v recipientu: 0,172 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> Průměrná šířka recipientu: 3 m  
 Průtok DV Žofie: 0,007 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> Průměrná rychlost proudění: 0,26 m.s<sup>-1</sup>

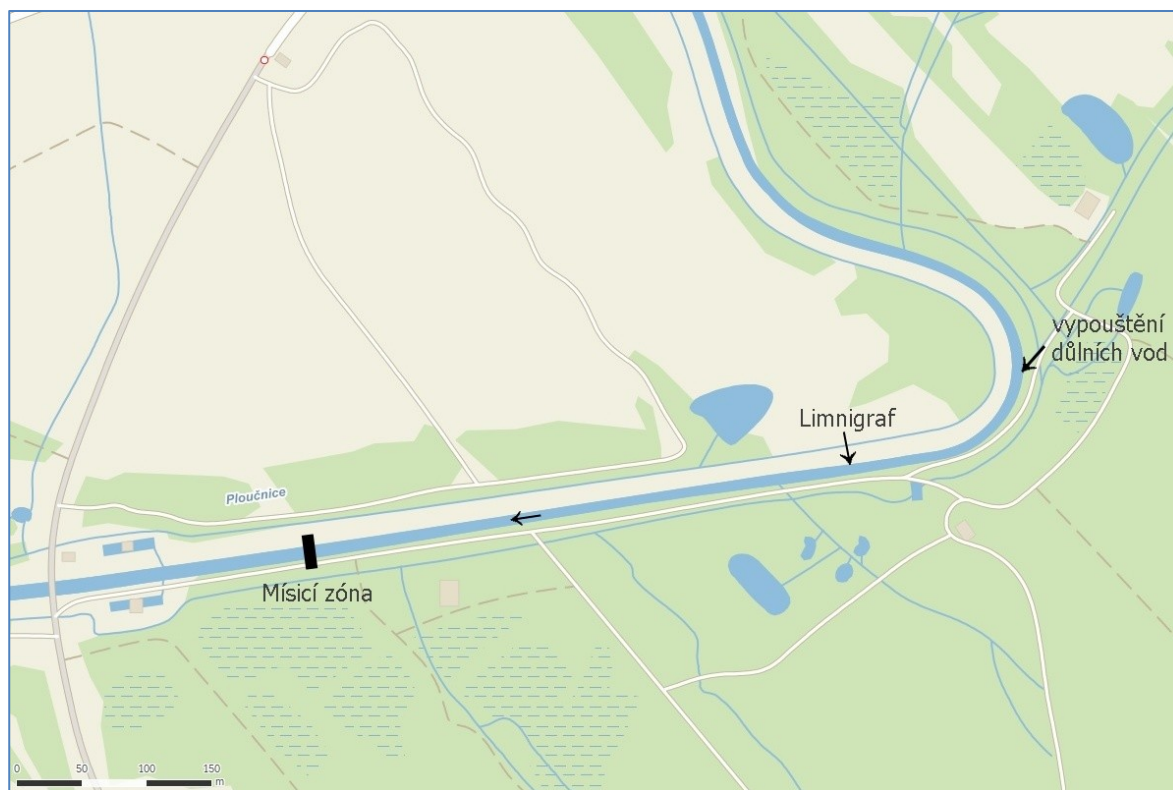
Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [ $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ]				$\Delta$
	Levý břeh		Pravý břeh		
	0,1	1	2	3	
-2	821	821	821	822	1
0	1363				
12	893		830	826	67
180	845		845	858	13
235	850		849	850	1

2. měření

Datum měření: 30.7.2009 Průměrná hloubka recipientu: 0,16 m  
 Průtok v recipientu: 0,046 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> Průměrná šířka recipientu: 2,9 m  
 Průtok DV Žofie: 0,002 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> Průměrná rychlost proudění: 0,10 m.s<sup>-1</sup>

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [ $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ]				$\Delta$
	Levý břeh		Pravý břeh		
	0,1	1	2	3	
-2	749	749	749	749	0
0	1259-1264				
5	829-839	788-792	754	762	85
20	774		769	770	5
40	772		771	771	2

**Ploučnice pod výpustí důlních vod Diamo, s.p., závod Geam, Stráž pod Ralskem,  
výpust V1 "Pustý" (p.č. 19)**



Situační mapa úseku mísicí zóny

Výsledky měření:

Datum měření: 30.6.2009

Průměrná hloubka recipientu: 0,46 m

Průtok v recipientu:  $0,973 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

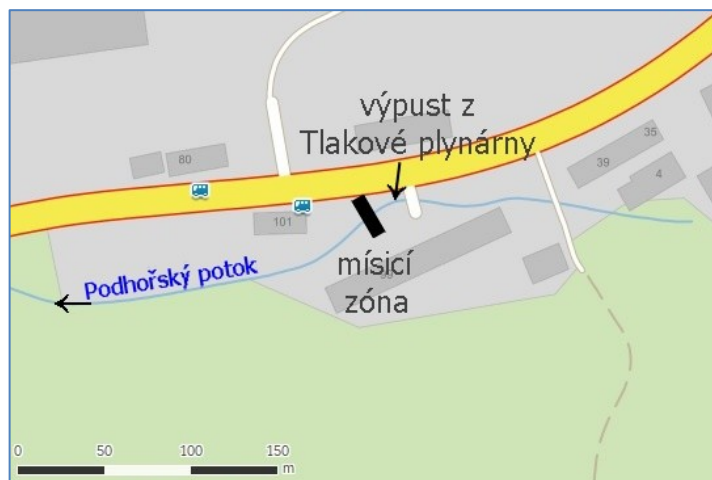
Průměrná šířka recipientu: 4,5 m

Průtok DV V1 "Pustý":  $0,123 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průměrná rychlost proudění:  $0,47 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ]			$\Delta$
	Levý břeh	Pravý břeh		
	0,2	2	4,3	
-5	307	306	304	3
0	4800			
40	1530-1580	950-1030	400-439	1180
80	1119-1124	870-960	609-612	515
167	1000	840-854	740	260
187	984-986	910-915	777-780	209
360	914	876-880	840	74
535	884	871	863	21
600	874	873	870	4

**Podhořský potok pod výpustí Tlakové plynárny Ústí n. Labem, a.s. (p.č. 20)**



Situační mapa úseku mísicí zóny

Výsledky měření:

Datum měření: 1.7.2009

Průměrná hloubka recipientu: 0,13 m

Průtok v recipientu:  $0,02 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průměrná šířka recipientu: 1 m

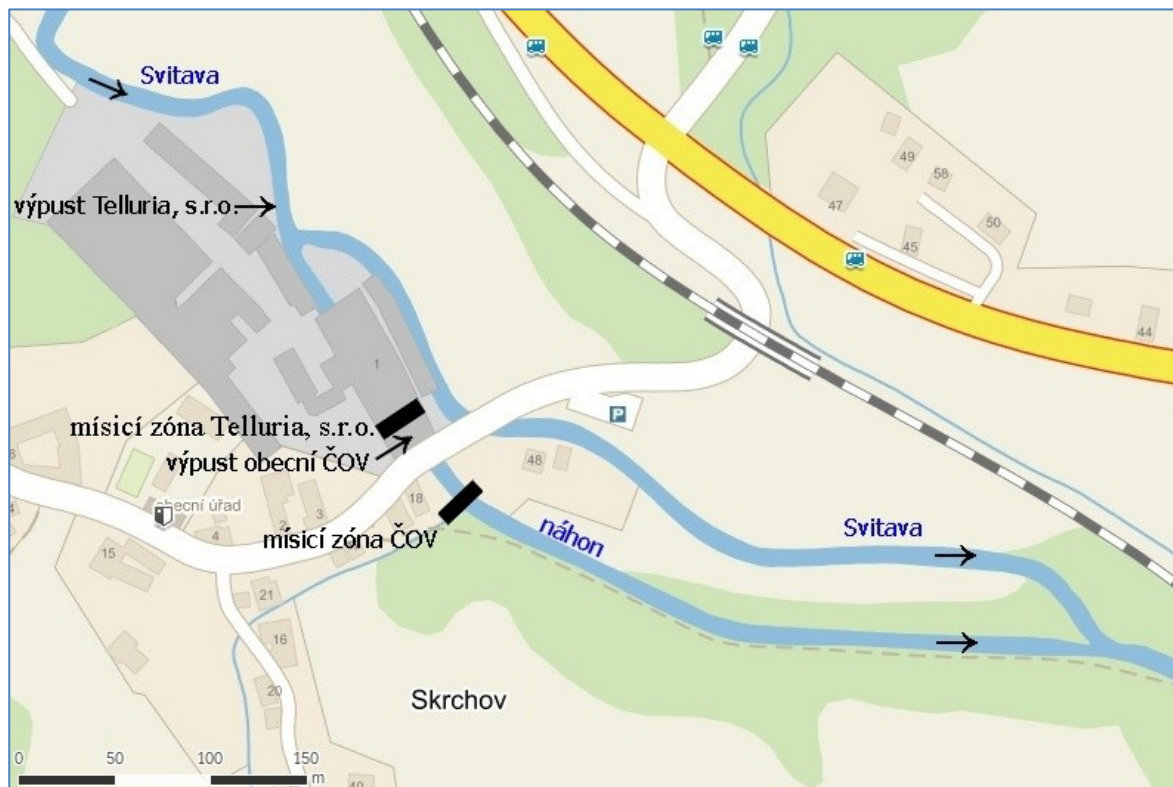
Průtok odpadní vody:  $0,001 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průměrná rychlost proudění:  $0,15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ]			$\Delta$
	Levý břeh 1	0,5	Pravý břeh 0,1	
-1		1838		
0		výpust	1250	
10	1672	1674	1671	3
15	1671	1670	1671	1



**Svitava pod výpustí podniku Telluria, s.r.o. Skrchov(p.č. 21)**



Situační mapa úseku mísicí zóny

Výsledky měření:

Datum měření: 13.5.2009

Průtok v recipientu:  $0,98 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

průtok v náhonu:  $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průtok OV Telluria:  $0,002 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průměrná hloubka recipientu: 0,25 m

Průměrná šířka recipientu: 5 m

Průměrná rychlost proudění:  $0,78 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Průtok OV ČOV Skrchov:  $0,001 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ]			$\Delta$	Poznámka
	Levý břeh 4,5	2,5	Pravý břeh 0,5		
-2	546	547	546	1	Svitava nad výpustí
0			1518		výpust Telluria, s.r.o.
4	547	547	553	6	Svitava pod výpustí
147	544	544	544	0	náhon
150	545	545	545	0	Svitava
150			640		výpust ČOV obce Skrchov do náhonu
160	546	546	551	5	náhon pod ČOV
190	546	547	548	2	náhon pod ČOV
537	548	547	548	1	soutok Svítavy a náhonu



## Zdobnice pod výpustmi podniku ESAB Vamberk, s.r.o. (p.č. 22)

### A. Pod výpustí č. 1



Situační mapa úseku mísící zóny

#### 1. měření:

Datum měření: 13.5.2009

Průměrná hloubka recipientu: 0,3 m

Průtok v recipientu:  $0,866 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průměrná šířka recipientu: 11,1 m

Průtok OV výpust č.1:  $0,001 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průměrná rychlost proudění:  $0,26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Průtok OV výpust K1:  $0,007 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [μS.cm <sup>-1</sup> ]						Δ	Poznámky
	Levý břeh			Pravý břeh				
	11	10	7,5	5	2,5	0,5		
-2	128	122	120	121	121	122	8	
0						623		Výpust č. 1 ESAB
5	537							Výpust kanalizace K1
10	160	121	120	121	121	122	40	
140	127	122	121	121	121	122	6	
255	255							Výpust kanalizace K2
260	128	123	121	122	122	123	7	
310	124	124	123	123	122	122	2	Mísící zóna
370	124	124	124	123	122	122	2	

## 2. měření:

Datum měření: 7.8.2009

Průměrná hloubka recipientu: 0,3 m

Průtok v recipientu:  $0,91 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 

Průměrná šířka recipientu: 11,1 m

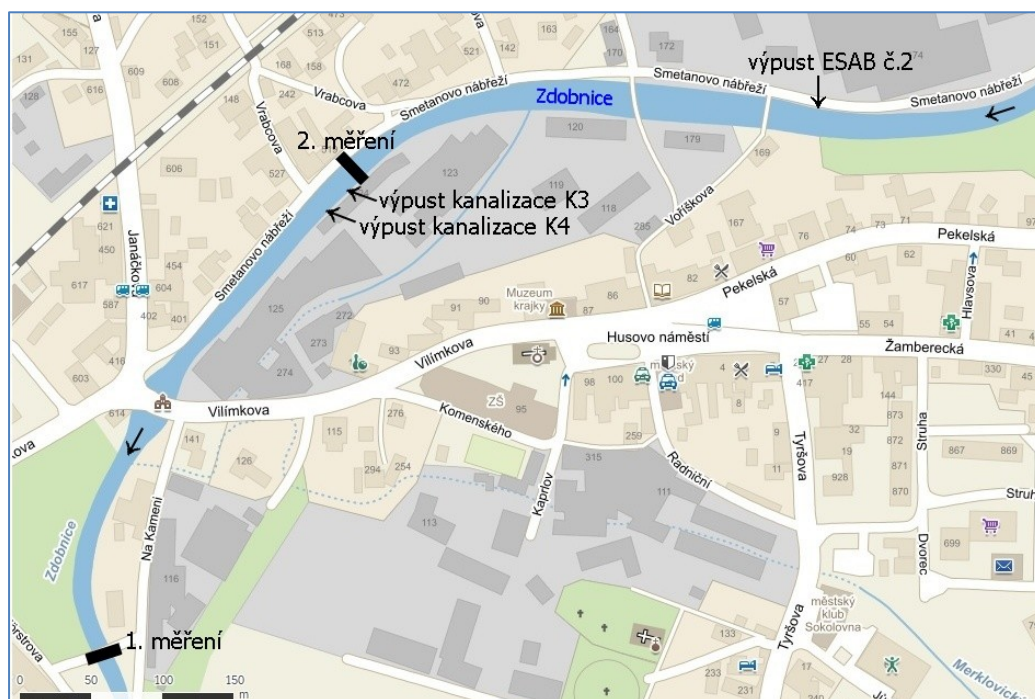
Průtok OV výpust č.1:  $0,002 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 

Průměrná rychlost proudění:  $0,27 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 

Průtok OV výpust K1:  $0,007 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [μS.cm <sup>-1</sup> ]						Δ	Poznámky
	Levý břeh			Pravý břeh				
	11	10	7,5	5	2,5	0,5		
-2	125	126	126	126	127	127	2	
0						181		Výpust č. 1 ESAB
5	513							Výpust kanalizace K1
6	186	132	127	128	127	129	59	
26	157	129	127	127	127	129	30	
56	136	129	127	127	128	129	9	
96	131	128	127	127	128	131	4	
136	134	129	127	127	128	130	7	
191	134	133	131	127	128	130	7	
255	703							Výpust kanalizace K2
265	137	130	128	128	129	130	9	
300	132	132	131	129	128	130	4	
315	131	131	131	130	129	129	2	Mísící zóna

## B. Pod výpustí č. 2



Situační mapa úseku mísící zóny

1. měření:

Datum měření: 13.5.2009

Průměrná hloubka recipientu: 0,25 m

Průtok v recipientu:  $0,86 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 

Průměrná šířka recipientu: 12,8 m

Průtok OV výpust č.2:  $0,015 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ Průměrná rychlost proudění:  $0,27 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [μS.cm <sup>-1</sup> ]						Δ	Poznámky
	Levý břeh			Pravý břeh				
	15	12	9	6	3	0,5		
-20	123	123	123	123	122	121	2	
0						1210		Výpust č. 2 ESAB
40	122	122	122	121	n.	797	676	
130	123	123	122	123	122	410	288	
260	124	123	126	136	160	194	71	
350	705							Výpust kanalizace K3
352	260	138	139	154	175	188	122	
377	300							Výpust kanalizace K4
380	162	136	147	159	182	195	59	
740			170	170	170	170	0	

2. měření:

Datum měření: 7.8.2009

Průměrná hloubka recipientu: 0,25 m

Průtok v recipientu:  $0,91 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 

Průměrná šířka recipientu: 15 m

Průtok OV výpust č.2:  $0,0006 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ Průměrná rychlost proudění:  $0,24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [μS.cm <sup>-1</sup> ]						Δ	Poznámky
	Levý břeh			Pravý břeh				
	15	12	9	6	3	0,5		
-10	130	130	130	129	129	129	1	
0						3800		Výpust č. 2 ESAB
40	130	130	129	131	132	167	38	
90	130	130	130	130	133	152	22	
230	131	130	130	131	134	138	8	
310	130	130	131	132	133	134	4	
340	131	131	132	132	132	132	1	

## C. Pod výpustí č. 3



Situační mapa úseku mísící zóny

1. měření:

Datum měření: 13.5.2009

Průměrná hloubka recipientu: 0,35 m

Průtok v recipientu:  $0,86 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 

Průměrná šířka recipientu: 8,8 m

Průtok OV výpust č.3:  $0,01 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ Průměrná rychlost proudění:  $0,28 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [μS.cm <sup>-1</sup> ]						Δ	Poznámky
	Levý břeh			Pravý břeh				
	8,5	8	6	4	2	0,5		
-5	172	172	171	171	172	174	3	
0						1138		Výpust č. 3 ESAB
30	173	172	171	171	171	355	184	
100	172	172	175	182	181	195	23	
250	183	183	183	184	183	183	1	

2. měření:

Datum měření: 7.8.2009

Průměrná hloubka recipientu: 0,35 m

Průtok v recipientu:  $0,924 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 

Průměrná šířka recipientu: 8,8 m

Průtok OV výpust č.3:  $0,0007 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ Průměrná rychlost proudění:  $0,30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [μS.cm <sup>-1</sup> ]						Δ	Poznámky
	Levý břeh			Pravý břeh				
	8,5	8	6	4	2	0,5		
-5	152	151	150	151	152	154	4	
0						721		Výpust č. 3 ESAB
4	152	151	150	149	153-155	186-190	41	
30	151	150	150	151	154	155	5	
80	150	150	152	151	151	152	2	
92	151	150	150	150	151	151	1	

### Zdobnice pod výpustí ČOV Vamberk (p.č. 23)



Situační mapa úseku mísící zóny

#### 1. měření:

Datum měření:	13.5.2009	Průměrná hloubka recipientu:	0,35 m
Průtok v recipientu:	$0,862 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Průměrná šířka recipientu:	8,8 m
Průtok odpadní vody:	$0,0005 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Průměrná rychlost proudění:	$0,28 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [μS.cm <sup>-1</sup> ]						Δ	Poznámky
	Levý břeh			Pravý břeh				
	8,5	8	6	4	2	0,5		
-5	186	189	189	188	187	183	6	
0						1076		Výpust ČOV
20	188	188	189	240	300	292	112	
100	187	189	189	240	241	268	81	
200	186	187	187	187	187	187	1	

#### 2. měření:

Datum měření:	7.8.2009	Průměrná hloubka recipientu:	0,35 m
Průtok v recipientu:	$0,916 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Průměrná šířka recipientu:	8,8 m
Průtok odpadní vody:	$0,0045 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Průměrná rychlost proudění:	$0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Vzdálenost [m]	Příčný profil - vodivost [μS.cm <sup>-1</sup> ]						Δ	Poznámky
	Levý břeh			Pravý břeh				
	8,5	8	6	4	2	0,5		
-5	152	152	152	152	152	152	0	
0						774		Výpust ČOV
8	153	152	169	183	203	188	51	
65	153	153	153	155	177	188	35	
100	153	153	154	154	158	154	5	
140	154	154	154	154	155	155	1	

## Příloha D

## Základní charakteristiky ověřovaných vodních toků pro výpočet rozsahu mísící zóny

Poř. č.	Název toku / Symbol	Typ umístění výpusti [-]	Šířka toku [m]	Prům. rychlost proudění [m.s <sup>-1</sup> ]	Koeficient nepravidelnosti koryta [-]	Hloubka toku [m]	Třetí rychlost [m.s <sup>-1</sup> ]
		m	B	U	$\alpha_y$	h	u
1	Bečva 1. měření/2. měření	0,4	28,7/29	0,21/0,17	0,7/0,6	0,6/0,55	0,021/ 0,017
2	Bezejmenný přítok (Žižkův potok)	0,4	1,05/1,10	0,06/0,08	0,6	0,06/0,08	0,006/ 0,008
3	Bohumínská Stružka	0,4	3,2	0,07	0,75	0,32	0,007
4	Hutní potok/Bílina	0,1/0,4	3/10	0,083/ 0,35	0,75/0,3	0,2/1,0	0,0083/ 0,035
5	Labe I (Hr. Králové) 1. měření/2. měření	0,4	54,2/54,2	0,21/0,20	0,3/0,3	3,3/3,2	0,0105/ 0,01
6	Labe II (Pardubice) 1. měření/2. měření	0,4	49,4/49,5	0,34/0,35	0,35/0,35	1,8/1,9	0,017/ 0,0175
7	Labe III (Ústí n. L.) 1. měření/2. měření	0,4	105,5/ 110	0,61/0,9	0,5/0,5	1,42/2,11	0,03/ 0,045
8	Lučina 1. měření/ 2. měření/3. měření	0,1	9/8,2/9	0,67/0,48 /0,4	0,7	0,8/0,55/ 0,51	0,067/0,0 48/0,04
9	Morávka 1. měření/2. měření	0,4	9,3/10	0,37/0,43	0,75	0,15/0,2	0,037/ 0,043
10	Odra 1. měření/2. měření	0,4	41,3/41	0,27/0,19	0,3	1,48/1,3	0,027/ 0,019
11a	Olše KČOV1 1. měření/2. měření	0,4	20/19,7	0,4/0,36	0,75	0,38/0,35	0,04/ 0,036
11b	Olše KČOV2 1. měření/2. měření	0,4	26/25	0,3/0,29	0,6	0,4/0,35	0,03/ 0,029
12	Opava 1. měření/2. měření	0,4	14,2/13,7	0,47/0,17	0,4/0,6	1,4/0,8	0,047/ 0,017
13	Opusta 1. měření/2. měření	0,4	1,5/1,5	0,09/0,13	0,4	0,09/0,11	0,009/ 0,013
14	Oslava	0,4	11,2	0,25	0,75	0,19	0,025
15	Ostravice I (F. Místek) 1. měření/2. měření/ 3. měření	0,4	31,5/ 31,7/31	0,21/ 0,33/0,19	0,7/0,6/ 0,7	0,68/ 0,95/0,59	0,021/ 0,033/ 0,019
16	Ostravice II (Biocel)	0,4	43,3	0,17	0,75	0,4	0,017

Poř. č.	Název toku / Symbol	Typ umístění výpusti [-]	Šířka toku [m]	Prům. rychlost proudění [m.s <sup>-1</sup> ]	Koeficient nepravidelnosti koryta [-]	Hloubka toku [m]	Třecí rychlost [m.s <sup>-1</sup> ]
		m	B	U	$\alpha_y$	h	u
17	Ostravice III (DV Jeremenko) 1. měření/2. měření/ 3. měření	0,4	31,5/ 31,6/ 31	0,32/ 0,32/ 0,37	0,65/ 0,6/ 0,6	0,85/ 0,85/ 0,9	0,032/ 0,032/ 0,037
18	Petřvaldská Stružka 1. měření/2. měření	0,4	3/2,9	0,26/0,10	0,5	0,22/0,16	0,026/ 0,010
19	Ploučnice	0,4	4,5	0,47	0,4	0,46	0,047
20	Podhořský potok	0,4	1	0,15	0,7	0,13	0,015
21a	Svitava (Telluria)	0,4	7	0,56	0,7	0,25	0,056
21b	Svitava - náhon (ČOV Skrchov)	0,4	5	0,33	0,75	0,15	0,033
22a	Zdobnice výpust č. 1 1. měření/2. měření	0,4	11,1	0,27	0,5	0,3	0,027
22b	Zdobnice výpust č. 2 1. měření/2. měření	0,4	12,8/15	0,27/0,24	0,6	0,25	0,027/ 0,024
22c	Zdobnice výpust č. 3 1. měření/2. měření	0,4	8,8	0,28/0,30	0,5	0,35	0,028/ 0,030
23	Zdobnice II 1. měření/2. měření	0,4	8,8	0,28/0,30	0,5	0,35	0,028/ 0,030

## Příloha E

**Poměry shody mezi experimentálně zjištěným rozsahem mísící zóny a vypočtenými hodnotami podle vztahů (15 – 19)**

Poř. č.	Název lokality	Č. měření	Shoda	Shoda	Shoda	Shoda	Shoda
			Fischer	Kilpatrick	Yotsukura	Sanders	Ruthven
			poměr	poměr	poměr	poměr	poměr
1	Bečva (Deza)	1.	4,22	0,40	1,33	16,05	2,41
		2.	14,77	0,98	3,22	48,18	7,23
2	Bezejmenný p. (Žižkův p.)	1.	4,38	0,10	0,34	14,27	2,14
		2.	2,02	0,06	0,21	6,58	0,99
3	Bohumínská Stružka	1.	1,90	0,06	0,21	7,73	1,16
4	Hutní potok	1.	12,00	1,94	6,39	195,65	29,35
	Bílina	1.	1,78	0,12	0,40	2,90	0,43
5	Labe I (Hr. Králové)	1.	nelze vyhodnotit				
		2.	nelze vyhodnotit				
6	Labe II (Pardubice)	1.	12,40	0,48	1,58	23,58	3,54
		2.	16,84	0,67	2,21	32,04	4,81
7	Labe III (Ústí n. L.)	1.	6,30	0,61	2,02	17,11	2,57
		2.	5,68	0,83	2,74	15,45	2,32
8	Lučina (Mittal)	1.	0,90	1,10	3,63	13,76	2,06
		2.	0,97	0,85	2,79	14,77	2,21
		3.	2,06	1,50	4,94	31,39	4,71
9	Morávka (Žižkův p.)	1.	12,30	2,22	7,30	50,14	7,52
		2.	6,67	1,40	4,60	27,17	4,08
10	Odra	1.	4,96	0,26	0,86	8,08	1,21
		2.	6,11	0,23	0,75	9,97	1,50
11a	Olše KČOV1	1.	11,70	2,28	7,51	47,67	7,15
		2.	14,42	2,53	8,33	58,79	8,82
11b	Olše KČOV2	1.	16,10	1,88	6,20	52,48	7,87
		2.	42,52	4,81	15,83	138,64	20,80
12	Opava	1.	1,25	0,15	0,50	2,72	0,41
		2.	1,91	0,13	0,42	6,22	0,93
13	Opusta	1.	6,25	0,15	0,48	13,59	2,04
		2.	8,0	0,23	0,76	17,52	2,63
15	Ostravice I (F. Místek)	1.	2,81	0,27	0,88	10,68	1,60
		2.	3,02	0,39	1,28	9,85	1,48
		3.	5,17	0,45	1,47	19,67	2,95



Poř. č.	Název lokality	Č. měření	Shoda	Shoda	Shoda	Shoda	Shoda
			Fischer	Kilpatrick	Yotsukura	Sanders	Ruthven
			poměr	poměr	poměr	poměr	poměr
17	Ostravice III (Jeremenko)	1.	1,28	0,17	0,57	4,53	0,68
		2.	1,66	0,21	0,68	5,40	0,81
		3.	1,78	0,26	0,85	5,80	0,87
18	Petřvaldská Stružka	1.	1,39	0,12	0,39	3,78	0,57
		2.	10,51	0,34	1,12	28,57	4,28
19	Ploučnice	1.	0,73	0,09	0,30	1,59	0,24
20	Podhořský potok	1.	2,93	0,20	0,66	11,15	1,67
21b	Svitava (ČOV Skrchov)	1.	22,22	3,58	11,77	90,58	13,59
22a	Zdobnice ESAB V1, K1	1.	10,60	0,90	2,95	28,80	4,32
		2.	10,43	0,92	3,01	28,34	4,25
22b	Zdobnice ESAB V2	1.	5,90	0,62	2,05	19,25	2,89
		2.	17,65	1,65	5,44	57,54	8,63
22c	Zdobnice ESAB V3	1.	7,08	0,64	2,12	19,24	2,89
		2.	19,24	1,88	6,18	52,28	7,84
23	Zdobnice II (ČOV Vamberk)	1.	8,85	0,81	2,65	24,05	3,61
		2.	12,64	1,23	4,06	34,36	5,15
	<b>Celkový průměr</b>		<b>8,10</b>	<b>0,90</b>	<b>2,98</b>	<b>29,51</b>	<b>4,43</b>

**Odhad součinitele drsnosti podle modifikovaného vztahu Cowa (37)**

Poř. č.	Název lokality	Č. m.	$n_0$	$n_1$	$n_2$	$n_3$	$n_4$	$m_5$	$p_6$	$n$
			[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	Bečva (Deza)	1.	0,028	0,015	0,010	0,020	0,000	1,000	1,250	<b>0,091</b>
		2.	0,028	0,015	0,010	0,020	0,000	1,000	1,500	<b>0,110</b>
2	Bezejmenný p. (Žižkův p.)	1.	0,028	0,010	0,010	0,000	0,000	1,000	1,500	<b>0,072</b>
		2.	0,028	0,010	0,010	0,000	0,000	1,000	1,000	<b>0,048</b>
3	Bohumínská Stružka	1.	0,022	0,010	0,005	0,015	0,000	1,000	1,000	<b>0,052</b>
4	Hutní potok	1.	0,024	0,000	0,005	0,000	0,005	1,000	1,000	<b>0,034</b>
	Bílina	1.	0,022	0,005	0,000	0,000	0,005	1,000	0,750	<b>0,024</b>
5	Labe I (Hradec Králové)	1.	0,024	0,000	0,000	0,005	0,000	1,000	1,000	<b>0,029</b>
		2.	0,024	0,000	0,000	0,005	0,000	1,000	1,000	<b>0,029</b>
6	Labe II (Pardubice)	1.	0,024	0,000	0,000	0,010	0,000	1,000	1,000	<b>0,029</b>
		2.	0,024	0,000	0,000	0,010	0,000	1,000	1,000	<b>0,034</b>
7	Labe III (Ústí n. L.)	1.	0,028	0,005	0,000	0,000	0,000	1,150	1,300	<b>0,049</b>
		2.	0,028	0,005	0,000	0,000	0,000	1,150	1,000	<b>0,038</b>
8	Lučina (Mittal)	1.	0,028	0,020	0,015	0,000	0,000	1,000	0,750	<b>0,047</b>
		2.	0,028	0,020	0,015	0,000	0,000	1,150	1,000	<b>0,072</b>
		3.	0,028	0,020	0,015	0,000	0,000	1,000	1,000	<b>0,063</b>
9	Morávka (Žižkův p.)	1.	0,028	0,020	0,015	0,010	0,000	1,000	1,500	<b>0,110</b>
		2.	0,028	0,020	0,015	0,010	0,000	1,000	1,250	<b>0,091</b>
10	Odra	1.	0,024	0,005	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	<b>0,029</b>
		2.	0,024	0,005	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	<b>0,029</b>
11a	Olše KČOV1	1.	0,028	0,020	0,015	0,015	0,000	1,150	1,100	<b>0,099</b>
		2.	0,028	0,020	0,015	0,015	0,000	1,150	1,150	<b>0,103</b>
11b	Olše KČOV2	1.	0,028	0,005	0,015	0,020	0,005	1,000	1,150	<b>0,080</b>
		2.	0,028	0,005	0,015	0,020	0,005	1,000	1,000	<b>0,084</b>
12	Opava	1.	0,028	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	<b>0,028</b>
		2.	0,028	0,000	0,005	0,000	0,000	1,000	1,500	<b>0,050</b>
13	Opusta	1.	0,020	0,000	0,005	0,010	0,005	1,000	1,500	<b>0,053</b>
		2.	0,020	0,000	0,005	0,010	0,005	1,000	1,200	<b>0,048</b>
15	Ostravice I (F. Místek)	1.	0,028	0,010	0,005	0,020	0,005	1,000	1,150	<b>0,078</b>
		2.	0,028	0,010	0,005	0,015	0,005	1,000	1,000	<b>0,063</b>
		3.	0,028	0,010	0,005	0,020	0,005	1,000	1,250	<b>0,085</b>
17	Ostravice III (Jeremenko)	1.	0,028	0,010	0,005	0,020	0,005	1,000	1,000	<b>0,068</b>
		2.	0,028	0,010	0,005	0,020	0,000	1,000	1,000	<b>0,063</b>
		3.	0,028	0,010	0,005	0,010	0,000	1,000	1,000	<b>0,053</b>

Poř. č.	Název lokality	Č. m.	$n_0$	$n_1$	$n_2$	$n_3$	$n_4$	$m_5$	$p_6$	$n$
			[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
18	Petřkovická Stružka	1.	0,028	0,005	0,005	0,010	0,000	1,000	1,000	<b>0,048</b>
		2.	0,028	0,005	0,000	0,010	0,005	1,000	1,500	<b>0,072</b>
19	Ploučnice	1.	0,020	0,005	0,000	0,000	0,010	1,000	1,000	<b>0,035</b>
20	Podhořský potok	1.	0,020	0,010	0,005	0,000	0,010	1,000	1,000	<b>0,045</b>
21b	Svitava (ČOV Skrchov)	1.	0,028	0,010	0,015	0,030	0,010	1,000	1,000	<b>0,093</b>
22a	Zdobnice ESAB V1, K1	1.	0,028	0,010	0,000	0,015	0,000	1,000	1,150	<b>0,061</b>
		2.	0,028	0,010	0,000	0,015	0,000	1,000	1,150	<b>0,061</b>
22b	Zdobnice ESAB V2	1.	0,028	0,010	0,005	0,020	0,005	1,000	1,150	<b>0,078</b>
		2.	0,028	0,010	0,005	0,020	0,005	1,000	1,150	<b>0,078</b>
22c	Zdobnice ESAB V3	1.	0,028	0,010	0,010	0,010	0,000	1,000	1,150	<b>0,067</b>
		2.	0,028	0,010	0,010	0,010	0,000	1,000	1,150	<b>0,067</b>
23	Zdobnice II (ČOV Vamberk)	1.	0,028	0,010	0,000	0,010	0,005	1,000	1,150	<b>0,061</b>
		2.	0,028	0,010	0,000	0,010	0,005	1,000	1,150	<b>0,061</b>

## PROTOKOL O VYMEZENÍ MÍSÍČÍ ZÓNY

na základě § 6 vyhlášky č. 98/2011 Sb. v útvarech povrchových vod tekoucích (kategorie řeka)

pro

I. Žadatel

☐ fyzická osoba podnikající – podání souvisí s její podnikatelskou činností

jméno, příjmení, druh podnikání, identifikační číslo, adresa zapsaná v obchodním rejstříku nebo v jiné zákonem upravené evidenci (popř. jiná adresa pro doručování)

☐ právnická osoba

název nebo obchodní firma, identifikační číslo nebo obdobný údaj, adresa sídla (popř. jiná adresa pro doručování), osoba oprávněná jednat jménem právnické osoby

.....

.....

.....

.....

.....

II. Základní údaje o místu vypouštění odpadních vod

Identifikační číslo vypouštění:

Číslo vodního útvaru:

Název vodního útvaru:

Délka vodního útvaru (od – do v ř. km.):

Název vodního toku:

Posuzovaný vodní tok pod říčním kilometrem:

Průtok  $Q_{330}$  v posuzovaném vodním toku:

Výpust – označení	Celoroční průměrné vypouštění ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	Vypouštění ( $\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ )	Vypouštění ( $\text{tis. m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$ )	Vypouštění $Q_{\max}$ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	Jiná použitá charakteristika

## III. Charakteristika znečišťující látky/látek

	Název látky	Celoroční průměrná koncentrace ( $\mu\text{g.l}^{-1}$ )	$P_{90}$ ( $\mu\text{g.l}^{-1}$ )	Koncentrace $C_{\text{max}}$ ( $\mu\text{g.l}^{-1}$ )	Jiné použité charakteristiky
A					
B					
C					
D					

## IV. Další charakteristiky použité pro vymezení mísící zóny\*

Průtok v recipientu pod výpustí $Q_r$	$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$		Koeficient pro šířku	-	
Střední profilová rychlost pod výpustí	$\text{m.s}^{-1}$		Exponent pro šířku	-	
Průměrná hloubka recipientu pod výústí	m		Vypočtená šířka rec.	m	
Průměrná šířka recipientu pod výpustí	m		Průměrná šířka rec.	m	
Plocha příčného profilu	$\text{m}^2$		Chézyho součinitel	$\text{m}^{0,5}.\text{s}^{-1}$	
Omočený obvod	m		Koncentrace pozadí	$\mu\text{g.l}^{-1}$	
Hydraulický poloměr	m		Tvar výpusti	-	
Manningův koeficient drsnosti	-		Průtočná plocha výusti	$\text{m}^2$	
Podélný spád čáry energie	$\text{m.m}^{-1}$		Ponořená výpust	ano/ne	
Koeficient pro hloubku	-		Konstanta $\alpha$	-	
Exponent pro hloubku	-		Konstanta $\beta$	-	
Koeficient pro rychlost	-		Rychlostní konstanta 1. řádu	$1.\text{den}^{-1}$	
Exponent pro rychlost	-		Teplotní koeficient	-	

\* uveďte pouze pro látku, pro kterou je rozhodující vymezení délky mísící zóny

### V. Vymezení délky mísící zóny

	Látka	Použitý průtok $Q_r$ ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	Použitá koncentrace $C_{ov}$ ( $\mu g \cdot l^{-1}$ )	Délka mísící zóny (m)	Vymezení mísící zóny od - do (ř. km)
A					
B					
C					
D					

Použitá třída tvrdosti vody (platí jen kadmium):

Název a staničení v ř. km. referenčního profilu vodního útvaru dotčeného vypouštěním:

A. Mísící zóna byla vymezena/nevymezena na Úrovni: 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐

B. Mísící zóna byla vymezena/nevymezena na Úrovni: 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐

C. Mísící zóna byla vymezena/nevymezena na Úrovni: 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐

D. Mísící zóna byla vymezena/nevymezena na Úrovni: 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐

### VI. Citlivé receptory/chráněná území ve vodním

Uveďte citlivé receptory/chráněná území, které mohou být ve vodním útvaru negativně ovlivněny vymezenou mísící zónou.

Receptor/ Typ chráněného území (popis)	Říční kilometr od - do (ř. km)

VII. Vymezení délky regulační mísicí zóny

Látka	Použitý průtok $Q_r$ ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	Použitá koncentrace ( $\mu g \cdot l^{-1}$ )
Vymezení mísicí zóny na toku (název) od - do (ř. km)	Délka mísicí zóny (m)	

Vzdálenost konce regulační mísicí zóny od referenčního profilu VÚ:

VIII. Vymezení mísicí zóny platí za těchto podmínek

Je zapotřebí přijmout opatření? ANO ☐ NE ☐

Podmínky/opatření pro přijatelný rozsah mísicí zóny:

Seznam příloh

Vypočet provedl:

Protokol zpracoval:

V ..... dne .....

V ..... dne .....

**Ověření těsnosti Fischerova vztahu (32) pro výpočet rozsahu mísící zóny programem****CIT na základě reálných měření  $C_{max}$  v terénu**

Poř. č.	Název lokality	Č. měření	Funkce	N	R <sup>2</sup>	Funkce	R <sup>2</sup>
1	Bečva (Deza)	1.	M	-0,518	0,944		
		2.	M	-0,503	0,994		
2	Bezejmenný p. (do Žižkova p.)	1.	M	-0,031	0,939		
		2.	M	-0,144	0,893		
3	Bohumínská Stružka	1.	M	-0,454	0,892		
4	Hutní p. do Bíliny	1.	M	-0,506	0,696		
5	Labe I (Hr. Králové)	1.	M	-0,451	0,964		
		2.	M	-0,354	0,983		
6	Labe II (Pardubice)	1.	M	-0,551	0,988		
		2.	M	-0,579	0,853		
7	Labe III (Ústí n. L.)	1.	M	-0,736	0,949		
		2.	M	-0,336	0,777		
8	Lučina (Mittal)	1.	M	-0,459	0,998		
		2.	M	-0,341	0,984		
		3.	M	-0,350	0,994		
9	Morávka (Žižkův p.)	1.	M	-0,486	0,799		
		2.	M	-0,486	0,877		
10	Odra	2.	M	-0,565	0,943		
11a	Olše KČOV1	1.	M	-0,394	0,650	E	0,797
		2.	M	-0,320	0,995		
11b	Olše KČOV2	1.	M	-0,349	0,950		
		2.	M	-0,420	0,904		
12	Opava	1.	M	-0,420	0,992		
		2.	M	-0,288	0,972		
13	Opusta	1.	M	-0,384	0,951		
		2.	M	-0,356	0,956		
15	Ostravice I (F. Místek)	1.	M	-0,252	0,593	E	0,761
		2.	M	-0,255	0,603	E	0,872
		3.	M	-0,266	0,546	E	0,910
17	Ostravice III (Jeremenko)	1.	M	-0,481	0,691	L	0,740
		2.	M	-0,372	0,820	L	0,963
		3.	M	-0,425	0,798	L	0,958
18	Petrvaldská Stružka	1.	M	-0,490	0,972		
		2.	M	-0,695	0,992		



Poř. č.	Název lokality	Č. měření	Funkce	N	R <sup>2</sup>	Funkce	R <sup>2</sup>
19	Ploučnice	1.	M	-0,252	0,986		
22a	Zdobnice ESAB V1, K1	1.	M	-0,600	0,981		
		2.	M	-0,539	0,912		
22b	Zdobnice ESAB V2	1.	M	-0,335	0,704	L	0,929
		2.	M	-0,856	0,971		
22c	Zdobnice ESAB V3	1.	M	-0,578	0,867		
		2.	M	-0,966	0,986		
23	Zdobnice II (ČOV Vamberk)	1.	M	-0,579	0,750		
		2.	M	-0,677	0,886		
Celkový průměr				-0,451	0,881		

M funkce mocninná

E funkce exponenciální

L funkce logaritmická

N odmocnitel v mocninné funkci

R<sup>2</sup> koeficient determinace (meze spolehlivosti regresní přímky)

## Příloha I

**Délka mísící zóny vypočtená programem CIT – Úroveň 3 a na korigovanou  
koncentraci  $C_{konc}^*$**

Poř. č.	Název lokality	Č. měř.	$\alpha$	$d_{MZ}$ [m]	PZ [ $\mu S \cdot cm^{-1}$ ]	a [-]	$d_{MZ}^*$ [m]	$d_{MZexp}$ [m]	Shoda $d_{MZ}^*$ s $d_{MZexp}$
1	Bečva (Deza)	1.	0,8	2 197	6,2	0,2	1 127	1 860	0,61
		2.	0,8	1 996	16,9	0,2	996	600	1,44
2	Bezejmenný p. (do Žižkova p.)	1.	0,9	22	5 973	0	22	28	0,79
		2.	0,8	32	3 674	0	32	50	0,64
3	Bohumínská Stružka	1.	0,6	105	291	0	105	90	1,17
4	Hutní p. do Bíliny	1.	0,3	1 721	9,0	0,2	724	750	0,97
5	Labe I (Hr. Králové)	1.	0,5	9 385	12,6	0,2	4 776	>1 850	n.
		2.	0,5	9 634	10,8	0,2	4745	>1 000	n.
6	Labe II (Pardubice)	1.	0,6	9 252	26,6	0,2	4 575	2 500	1,83
		2.	0,6	8 875	27,6	0,2	4 803	1 750	2,74
7	Labe III (Ústí n. L.)	1.	0,4	53 907	2,8	0,2	20 097	20 250	0,99
		2.	0,4	54 226	1,2	0,2	20 090	16 140	1,24
8	Lučina (Mittal)	1.	1,0	258	28,6	0,2	134	160	0,84
		2.	1,0	192	130,0	0,1	119	180	0,66
		3.	1,0	283	139,3	0,1	144	110	1,31
9	Morávka (Žižkův p.)	1.	1,0	485	8,4	0,2	256	250	1,02
		2.	1,0	533	14,6	0,2	287	400	0,72
10	Odra	1.	0,6	8 927	10,6	0,2	4 850	3 100	1,56
		2.	0,6	9 814	26,9	0,2	5 461	2 820	1,94
11a	Olše KČOV1	1.	1,3	883	37,1	0,2	480	480	1,00
		2.	1,3	883	115,4	0,1	645	410	1,57
11b	Olše KČOV2	1.	0,7	3 292	1,5	0,2	1 343	700	1,92
		2.	0,7	3 241	3,1	0,2	997	280	3,56
12	Opava	1.	0,6	1 124	16,3	0,2	565	1 150	0,49
		2.	0,6	945	74,9	0,2	457	820	0,56
13	Opusta	1.	1,0	40	178	0	40	40	1,00
		2.	1,0	37	116,7	0	37	30	1,23
15	Ostravice I (F. Místek)	1.	0,8	2 781	68,3	0,2	1 458	2 970	0,49
		2.	0,8	2 632	21,4	0,2	1 074	2 334	0,46
		3.	0,8	2 784	34,5	0,2	1 413	1 800	0,79

Poř. č.	Název lokality	Č. měř.	$\alpha$	$d_{MZ}$ [m]	PZ [ $\mu S.cm^{-1}$ ]	a [-]	$d_{MZ}^*$ [m]	$d_{MZexp}$ [m]	Shoda $d_{MZ}^*$ s $d_{MZexp}$
17	Ostravice III (Jeremenko)	1.	0,8	2 644	400,7	0,05	2 467	5 600	0,44
		2.	0,8	2 872	394,5	0,05	2 688	4 730	0,57
		3.	0,8	3 131	280,8	0,05	2 915	4 000	0,73
18	Petřvaldská Stružka	1.	0,3	276	53,3	0,2	117	235	0,50
		2.	0,6	113	52,7	0,2	50	40	1,25
19	Ploučnice	1.	0,3	456	538,7	0,05	432	600	0,72
22a	Zdobnice ESAB V1, K1	1.	0,8	872	4,3	0,2	454	310	1,46
		2.	0,8	872	3,9	0,2	504	315	1,60
22b	Zdobnice ESAB V2	1.	0,8	1 058	20,6	0,2	593	740	0,80
		2.	0,8	1 454	2,5	0,2	836	340	2,46
22c	Zdobnice ESAB V3	1.	0,8	437	13,0	0,2	238	250	0,95
		2.	0,8	437	0,6	0,2	229	92	2,49
23	Zdobnice II (ČOV Vamberk)	1.	0,8	480	0,6	0,2	257	200	1,29
		2.	0,8	480	3,8	0,2	254	140	1,81
Celkový průměr									1,15

- $\alpha$  koeficient příčné horizontální disperze  
 $d_{MZ}$  délka mísicí zóny vypočtená programem CIT  
PZ přírůstek znečištění  
a konstanta vyjadřující míru přírůstku znečištění ve vztahu (43)  
 $d_{MZ}^*$  korigovaná délka mísicí zóny podle koncentrace  $C_{konc}^*$   
 $d_{MZexp}$  experimentálně zjištěná délka mísicí zóny v terénu